Klassifikations- und Bauvorschriften

I Schiffstechnik

5 Unterwassertechnik

2 Bemannte Unterwasserfahrzeuge

Ausgabe 2009

GL OPERATING 24/7

Diese Vorschriften treten am 1. November 2009 in Kraft.

Germanischer Lloyd Aktiengesellschaft

Unternehmenszentrale
Vorsetzen 35, 20459 Hamburg
Tel.: +49 40 36149-0
Fax: +49 40 36149-200
headoffice@gl-group.com

www.gl-group.com

Es gelten die "Allgemeinen Geschäftsbedingungen" in der jeweils gültigen Fassung
(siehe Klassifikations- und Bauvorschriften, I - Schiffstechnik, Teil 0 - Klassifikation und Besichtigungen).

Nachdruck oder Vervielfältigung, auch auszugsweise, ist nur mit Genehmigung
der Germanischer Lloyd Aktiengesellschaft gestattet.

Verlag: Germanischer Lloyd Aktiengesellschaft, Hamburg

Inhaltsverzeichnis

Abschnitt 1 Klassifikation und Zertifizierung von bemannten Unterwasserfahrzeugen

A. Geltungsbereich 1- 1
B. Klassifikation und Klassenzeichen 1- 1
C. Klassifikation von Unterwasserfahrzeugen, die unter Aufsicht und nach den Vorschriften des GL gebaut oder umgebaut werden 1- 3
D. Klassifikation von Unterwasserfahrzeugen, die nicht unter Aufsicht des GL gebaut worden sind 1- 3
E. Besichtigungen für die Erhaltung der Klasse 1- 4
F. Besichtigungen außerhalb der Klassifikation 1- 6
G. Zertifizierung 1- 6
H. Arbeitsausführung 1- 7

Abschnitt 2 Grundsätze für den Bau von bemannten Unterwasserfahrzeugen

A. Allgemeine Grundsätze 2- 1
B. Zu berücksichtigende Vorschriften 2- 1
C. Begriffsbestimmungen 2- 2
D. Umgebungsbedingungen 2- 4
E. Genehmigungsunterlagen 2- 5
F. Fehler-Möglichkeits- und Einfluss-Analyse (FMEA) 2- 8
G. Prüfungen und Erprobungen 2- 10
H. Kennzeichnung 2- 14
I. Reserveteile 2- 14

Abschnitt 3 Stabilität und Schwimmfähigkeit

A. Allgemeines 3- 1
B. Intaktstabilität 3- 1
C. Stabilität in beschädigtem Zustand 3- 6
D. Tauch-, Trimm- und Krängungsversuche 3- 7

Abschnitt 4 Entwurfsbelastungen

A. Allgemein 4- 1
B. Druckdefinitionen 4- 1
C. Andere äußere Lasten 4- 2
D. Innere Lasten 4- 3
E. Lastfälle für den Druckkörper 4- 4
F. Zusammenstellung der Drücke für die Elemente von Unterwasserfahrzeugen 4- 4

Abschnitt 5 Druckkörper

A. Allgemeines 5- 1
B. Werkstoffe 5- 1
C. Grundsätze für die Herstellung und Konstruktion 5- 2
D. Berechnung 5- 6
E. Festigkeitsnachweise mit numerischen Methoden 5- 7
F. Kriechfestigkeit 5- 8
G. Ausrüstung und Inneneinrichtung 5- 8

Abschnitt 6 Außenstruktur und Ausrüstung

A. Allgemeines 6- 1
B. Grundsätze für den Entwurf der Außenstruktur 6- 1
C. Ausrüstung 6- 2
D. Korrosionsschutz 6- 4

Abschnitt 7 Einrichtungen zum Tauchen/Ballastieren, Regeln/Kompensieren und Trimmen

A. Allgemeines 7- 1
B. Grundsätze für die Auslegung und Konstruktion 7- 1
C. Tauchzellen 7- 2
D. Regelzellen 7- 2
E. Trimmeinrichtungen 7- 3
F. Ballastsysteme 7- 3

Abschnitt 8 Behälter und Apparate unter Druck

A. Allgemeines 8- 1
B. Druckbehälter, Druckgasflaschen und Apparate unter Druck 8- 1
C. Druck- und Tauchkammern 8- 1

Abschnitt 9 Rohrleitungssysteme, Pumpen und Verdichter

A. Allgemeines 9- 1
B. Grundsätze für die Auslegung und Konstruktion 9- 1
C. Werkstoffe, Herstellung und Berechnung 9- 3
D. Betriebsstoffe 9- 3

Abschnitt 10 Antriebs- und Manövriereinrichtungen

A. Allgemeines 10- 1
B. Grundsätze für die Auslegung und Konstruktion 10- 1

Abschnitt 11 Elektrische Einrichtungen

A. Allgemeines 11- 1
B. Grundsätze für die Auslegung 11- 1
C. Energieversorgung 11- 3
D. Energieverteilung 11- 5
E. Elektrische Betriebsmittel 11- 8

Abschnitt 12 Automations-, Kommunikations-, Navigations- und Ortungseinrichtungen

A. Allgemeines 12- 1
B. Automationseinrichtungen 12- 1
C. Kommunikationseinrichtungen 12- 4
D. Navigations- und Ortungseinrichtungen 12- 5

Abschnitt 13 Lebenserhaltungssysteme

A. Allgemeines 13- 1
B. Grundsätze für die Auslegung 13- 1
C. Luftversorgung 13- 1
D. Überwachungseinrichtungen 13- 3
E. Temperatur- und Kälteschutz im Notfall 13- 3
F. Druckausgleich 13- 3
G. Müllentsorgung 13- 3

Abschnitt 14 Brandschutz und Feuerlöscheinrichtungen

A. Allgemeines 14- 1
B. Baulicher Brandschutz 14- 1
C. Brandüberwachung 14- 1
D. Feuerlöscheinrichtungen 14- 1

Abschnitt 15 Rettungssysteme

A. Allgemeines 15- 1
B. Grundsätze für den Entwurf 15- 1

Abschnitt 16 Zusätzliche Anforderungen an Unterwasserfahrzeuge für den Touristik-Einsatz

A. Allgemeines 16- 1
B. Grundsätze für die Auslegung 16- 1

Abschnitt 17 Unterstützende Einrichtungen auf dem Versorgungsschiff

A. Allgemeines 17- 1
B. Klassifikation und Zertifizierung 17- 1
C. Steuerungseinrichtungen 17- 1
D. Versorgungseinrichtungen 17- 3
E. Aussetz- und Bergeeinrichtung 17- 4
F. Stauung und Decktransport 17- 8
G. Andockeinrichtung 17- 9

Anhang A Berechnung des Druckkörpers

A. Allgemeines ..... A- 1
B. Betriebsfestigkeit ..... A- 1
C. Spannungen bei Nenntauchdruck ..... A- 2
D. Spannungen bei Prüftauchdruck ..... A- 2
E. Nachweis der Grenztragfähigkeit bei Zerstörungstauchdruck ..... A- 2
F. Berechnung ..... A- 2
G. Literatur ..... A- 17

Anhang B Fertigungstoleranzen für den Druckkörper

A. Allgemein ..... B- 1
B. Abmessungen des Druckkörpers ..... B- 1
C. Spanten des Druckkörpers ..... B- 2
D. Unrundheit des zylindrischen bzw. konischen Druckkörpers ..... B- 3
E. Kugelförmige Schalen und gewölbte Endböden ..... B- 6
F. Literatur ..... B- 8

Anhang C Acrylglasfenster

A. Allgemeines ..... C- 1
B. Werkstoffe ..... C- 1
C. Herstellung von Fenstern ..... C- 2
D. Fensterformen und Abmessungen ..... C- 2
E. Montage der Fenster.. ..... C- 3

Anhang D Herstellung und Behandlung von faserverstärkten Kunststoffen (FVK)

A. Allgemeines ..... D- 1
B. Anforderungen an die Werkstoffe und deren Verarbeitung ..... D- 1
C. Anforderungen an die Konstruktion ..... D- 2

Anhang E Grundsätzliche Anforderungen an Umbilicals

A. Allgemeines ..... E- 1
B. Grundsätze für Auslegung und Konstruktion ..... E- 1
C. Genehmigungsunterlagen ..... E- 5
D. Prüfungen und Erprobungen ..... E- 5
E. Kennzeichnung ..... E- 7

Alphabetisches Sachregister

A

Abluftanlage 13-1
Abminderungsfaktor k für verschiedene Stahlbehandlung A-14
Abwerfen von Ausrüstung 6-3
Abwerfen von festem Ballast 3-4, 15-1, 16-2
Acrylglasfenster 1-5, 5-2, 5-5, C-1
Einsatzgrenzen C-1
Mechanische und optische Eigenschaften C-3
Standardabmessungen C-4
Akkumulatoren 11-4
Aktuatoren 12-4
Andockeinrichtungen 1-5, 2-8, 2-14, 5-6, 17-9
Ankereinrichtung 6-2
Anschlagpunkte 2-12, 6-2, 16-2
Antrag auf Klassenaufnahme 1-3
Antriebs- und Manövriereinrichtungen 2-7, 2-13, 10-1
A-Portal 17-5
Apparate unter Druck 8-1
Arbeitsausführung 1-7
Arbeitsgeräte 2-7, 2-13, 6-3
Asymmetrische Beulung der Außenhaut A-5
Atemluftversorgung 11-3, 17-4
Auf- und Abrolleinrichtungen für Umbilicals 17-6
Aufrichtende Hebelarme 3-3, 3-7
Auftauchen im Notfall 16-2
Auftrieb 16-1
Auftriebsmaterial 2-6, 6-2
Ausrüstung 5-8, 6-2, 16-2, 17-6
Ausschnitte 5-5
Außenstruktur 2-6, 2-11, 6-1
Aussetz- und Bergeeinrichtung 17-4
Aussetz- und Bergekräne 17-6
Automation 12-1
Automations-, Kommunikations-, Navigations- und Ortungseinrichtungen 2-8, 2-13, 12-1

B

Ballast 16-2
Bauaufsicht 1-3
Baulicher Brandschutz 14-1
Bauprüfung 2-10, C-2
Bauteildicke B-1
Bedienungsanleitung 2-6
Bedienungsstand 17-5, 17-7
Begriffsbestimmungen 2-2, 3-1
Behälter und Apparate unter Druck 2-7, 2-12, 4-6, 8-1
Belastungsplan 4-1
Beleuchtung 5-8, 11-3, 11-8, 17-3, 17-8
Berechnung des Druckkörpers 5-6, A-1
Berechnungskriterien für den Druckkörper 5-6
Berechnungslebensdauer für Fenster C-1
Beschädigungsgrad 3-6
Beschleunigungen durch Fahrzeugbewegungen und Seegang 4-3
Besichtigungen 1-4
Betriebsaufzeichnungen 1-1, 2-6
Betriebsfestigkeit 4-2, 4-4, A-1
Betriebsstoffe 9-3
Bleiakkumulatoren 11-5
Böden 5-5
Brand- und Explosionsschutz 17-8
Brandschutz- und Feuerlöscheinrichtungen 2-8, 2-13, 14-1
Brandüberwachung 14-1

C

CO_2-Absorption 13-2
CO_2-Partialdruck 13-1

D

Datenübertragungseinrichtungen 12-4
Decks 4-3, 4-4, 6-2
Decktransport 17-8
Dichtheitsprüfung 1-5
Diskontinuitäten A-14
Drehkreis 3-4
Druckausgleich 13-3
Druckbehälter 2-14, 8-1, A-1

Druckbelastungsplan 4-1
Drücke für Behälter und Apparate 4-2
Drücke, Zusammenstellung 4-4
Druckgasflaschen 2-14, 8-1
Druckkammern 8-1
Druckkörper 2-6, 2-11, 4-5, 5-1
Druckkörper, Abmessungen B-1
Druckkörperdurchführungen 5-5
Druckluftsysteme 9-2
Durchbrüche im zylindrischen oder konischen Teil des Druckkörpers
Flächenvergleichsmethode A-14
Querschnittsflächenersatzregel A-15
Durchbrüche in kugelförmigen Schalen A-17
Durchführungen durch Druckkörperwandungen 11-7
Dynamische Intaktstabilität 3-6
Dynamische Positionierung 10-2, 17-2

E

Eisablagerung 3-4, 4-3
elastisch-plastisches Verhalten im Werkstoff A-1
Elektrische Einrichtungen 2-7, 2-13, 4-6, 11-1, 17-3
Elektrische Maschinen 11-8
elektrische Verbindungselemente E-4
Energieversorgung 11-3, 12-2, 17-5
Energieverteilung 11-5
Entwurfsbelastungen 4-1, 17-5
Erdung 11-6
Erprobungen 2-10, 17-2, 17-4, 17-7, 17-9, E-5
Erprobungsprogramm 2-6
Erschütterungen 2-5
Explosionsschutz 2-5

F

Fahrstand 12-3, 13-3
Faserseile 17-6
Faserverstärkte Kunststoffe (FVK) D-1
Anforderungen an die Konstruktion D-2
Anforderungen an die Werkstoffe D-1
Anwendungsbereich D-1
Fertigung D-1

Reparatur von Bauteilen D-2
Fender 16-2
Fenster 5-8
Fensterformen C-2
Fensterherstellung C-2
Fenstermontage C-3
Fertigungstoleranzen 5-7
Fertigungstoleranzen für den Druckkörper B-1
Fertigungsunterlagen 1-7
Festigkeitsnachweise mit numerischen Methoden 5-7
Festinstallierte Feuerlöschanlagen 14-2
Feuchtigkeit 13-2
Feuerlöscheinrichtungen 14-1
Flanschen 5-5
Freie Oberflächen 3-4
Frequenzen 11-1, 17-2

G

Gassysteme 2-14
Gehäuse für elektrische Einrichtungen 11-6
Genehmigungsunterlagen 2-5, 17-2, 17-7, 17-9
Gesamtsystem 2-5, 2-11
Gewichtsschwerpunkt 3-1
Gewölbte Böden A-12, B-6
Abmessungen B-1
Klöpper- bzw. Korbbogenform B-6
Grenztragfähigkeit A-2
Gültigkeit der Klasse 1-2
Güteeigenschaften 5-2

H

H_2-Überwachung 13-2
Handfeuerlöscher 14-2
Hauptabmessungen 2-3
Hauptparameter 2-3
Hebelarm 3-4
Hebelarmkurven 3-5
Hydrauliksysteme 9-2, 17-3

I

Inneneinrichtung 5-8
Intakt 3-1
Isolation 11-1

K

Kabel 4-6, 11-6, E-3, E-7
Kantenversatz B-1
Kehlnähte 5-2, 5-4
Kennzeichnung 2-14, 17-8, C-1, C-2, E-7
Kerbschlagarbeit 5-1
Kiel 6-2
Klassenaufnahme 1-4
Klassenregister 1-1
Klassenzeichen 1-1
Klassenzertifikat 1-1
Klassifikation 1-1, 17-1
Klassifikation nicht unter Aufsicht des GL gebaut 1-3
Klassifikation unter Aufsicht und nach den Vorschriften des GL gebaut 1-3
Klima 2-5
Kollision 4-3
Kommunikationseinrichtungen 11-3, 12-4, 16-1, 17-1, 17-2, 17-4, 17-9
Kontrollstand 17-1, 17-2, 17-4, 17-7, 17-9
Kontrollstand und der Kontrolleinheit für die Versorgungseinrichtungen nach D. 17-2
Korrosionsschutz 6-4
Krängende Hebelarme 3-4, 3-7
Krängungsversuch 3-7
Kriechfestigkeit 5-8
Kriechstrecken 11-1, 11-6
K-Stegnähte 5-4
Kugelform, zulässig B-6
Kugelförmige Schalen A-12, B-6
- Abmessungen B-1
- aus anderen Werkstoffen als ferritischer Stahl A-13
- aus ferritischem Stahl A-13
- Messung der örtlichen Abflachung B-7
- Versagensdruck bei abweichender Unrundheit B-7

L

Ladegeräte 11-5

Landanschluss 11-3
Längsfestigkeit A-1
Lastfälle für den Druckkörper 4-4
Lebenserhaltungssysteme 2-8, 2-13, 13-1, 16-3
Lenzeinrichtungen 2-6, 2-12, 7-1, 9-1
Lichter 12-5
Literatur A-17
Löschmittel 14-2
Luftstrecken 11-1, 11-6
Luftversorgung 13-1
Luken 5-5, 16-1, 16-2

M

Manövriereinrichtungen 10-1
Markierungsboje 15-2
Masten 6-3
Metazentrum 3-1
Mindestschutzarten gegen Fremdkörper und Wasser 11-2
Mindestwerte der Stabilität 3-5
Müllentsorgung 13-3, 16-3

N

Nahteinfall B-2
Navigation 12-3, 12-5
Nenntauchtiefe NDD 2-4, 4-1
Nicht-wasserdichte Abteilungen 4-3
Notatemgerät 13-1, 16-3
Notenergieversorgung 11-3, 17-3
Notfallanleitungen 15-2
Notortungseinrichtung 16-3
Notstoppeinrichtung 12-2
Notstoppeinrichtungen 12-4, 17-5
Nutzlast 3-4
Nutzlast NL 2-4, 17-5
Nutzlast SWL 17-5, 17-7, 17-8

O

Oberkante von Einstiegsöffnungen 3-1
Ortungseinrichtungen 11-3, 12-5

P

Persönliche Rettungsmittel 15-1
Positioniereinrichtungen 2-7, 2-13, 10-2
Positionsanzeigen 12-5
Propeller 10-1
Propellerwelle 4-3, 5-6
Prüfdruck 4-2
Prüftauchtiefe TDD 2-4, 4-1
Prüfungen 2-10, 17-2, 17-4, 17-7, 17-9, E-4
Pumpen 2-7, 2-12, 4-5, 9-1

Q

Qualitätskontrolle 1-7

R

Radartransponder 16-3
Rahmenspanten A-7, A-8, A-12
Rammbügel 6-2
Regelsysteme 9-1
Regelzellen 2-12, 7-2
Reling 6-3, 16-2
Reserveteile 2-14
Reserveverdrängung 3-1
Rettungsausrüstung 15-1
Rettungsbehälter 15-2
Rettungsbojen 16-3
Rettungsflansch 15-2
Rettungssysteme 2-8, 2-13, 4-7, 15-1
Rohrleitungssysteme 2-7, 2-12, 2-14, 4-6, 9-1
Ruderanlagen 4-3, 7-1

S

Sauerstoffpartialdruck 13-1
Sauerstoffsysteme 13-2
Schaltungstechnik 12-2
Schlauchleitungen 2-13, 4-6, 9-1, E-2, E-7
Schleppen 4-3
Schlepppunkt 6-2, 16-2
Schotte 4-3, 5-6
Schräglagen 2-4

Schutzleiter 11-2, 11-3
Schutzmaßnahmen 11-2, 11-5
Schweißnähte, Bewertung B-2
Schweißung 5-2
Schwimmfähigkeit 3-1
Schwimmwesten 15-1, 16-3
Schwingungen 2-5
Seegang 2-5
Seeschlag 4-2
Selbsttätiges Anblasen 15-1
Sensoren 12-4
Sicherheitsbeiwerte gegen Beulen und Kippen 5-7
Sicherheitsfaktor 4-2
Sichtöffnungen 5-5
Spannungen 11-1, 17-2
bei Nenntauchdruck A-2
bei Prüftauchdruck A-2
für einen konischen Druckkörper A-5
in einem gleichförmig ausgesteiften Zylinder A-2
Spannungs-Dehnungsverhalten A-7
Spanten A-8, A-11
außen angeordnet A-12
des Druckkörpers B-2
Formabweichungen A-9
Kippen A-9
Toleranzen B-3
Speicherprogrammierbare Steuerungen 12-2
Stabilität 3-1, 16-1
Stabilität in beschädigtem Zustand 3-6
Stabilitätskriterien 3-5, 3-7
Stabilitätslastfälle 3-2
Stabilitätsunterlagen 2-6
Stahldrahtseile 17-6
Standardabmessungen
für Flachfenster C-4
für Kugelschalenfenster C-5
Stauung 17-8
Steuerstand 17-2
Steuerungseinrichtungen 12-4, 17-1, 17-5

Stromschienen 11-6
Strömungen 2-5
Strömungswiderstand 4-2
Stückprüfung 11-7
Stumpfnähte 5-2
Stutzenrohre 5-5
Symmetrische Beulung der Außenhaut A-6

T

Tanks 4-4
Tauch-, Regel- und Trimmsysteme 2-6, 2-12, 7-1
Taucherschleuse 3-5, 5-6, 6-2
Tauchkammern 8-1
Tauchversuch 3-7
Tauchzellen 2-12, 7-2
Temperatur- und Kälteschutz 13-3
Tide 2-5
Tiefgang 3-5
Touristik-Einsatz 16-1
Tragseil 6-3, 15-2
Trimmdiagramm 3-5
Trimmgewichte 7-3
Trimmsysteme 2-6, 7-3, 9-1
Trimmversuch 3-8
Trimmzellen 2-12, 7-3, 16-1
Türen 5-6
Turm 6-2
Typprüfung 11-7

U

Übergangsringe B-3
Überlebenszeitraum 13-1
U-Boot -Zertifikat 1-7
Umbilicals 2-7, 2-12, 3-4, 4-6, 6-3, 11-6, 15-2, E-1
- Abwerfen E-4
- Auf- und Abrolleinrichtungen E-4
- Energieversorgungsleitungen E-3
- Genehmigungsunterlagen E-5
- Grundsätze für Auslegung und Konstruktion E-1
- Kennzeichnung E-7

Prüfungen E-5
Umgebungsbedingungen 2-4, 13-1, 13-3
Unrundheit
Messmethode 1
direkte Messung der Radien B-4
Nicht gleichmäßig verteilte Messpunkte B-5
Messmethode 2
indirekte Messung der Abweichung von der mittleren Bogenhöhe der Messbrücke B-5
Unrundheit des zylindrischen bzw. konischen Druckkörpers B-3
Unterstützende Einrichtungen auf dem Versorgungsschiff 1-2, 17-1
Unterwassersteckverbindungen 11-7

V

Verbrennungsmotoren 10-1
Verdichter 2-12, 4-5, 9-2
Verdrängungsschwerpunkt 3-1
Verformungsvermögen 5-1
Verholeinrichtung 6-3, 16-2
Versagensdruck an kugelförmigen Schalen mit einer abweichenden Unrundheit B-7
Versorgungseinrichtungen 17-3
Versorgungssysteme 11-1
Vorschriften 2-1

W

Wärmeschutzanzüge 13-3, 15-1, 16-3
Wartungshandbuch 2-6
Wasser 2-5
Wasserdicht 3-1
Werkstoffe 5-1, 6-1, 7-2, 7-3, 9-3, 11-1, 17-6, 17-7, C-1
Wetterdicht 3-1
Windlasten 3-4, 4-2

Z

Zellen 2-11, 4-5, 16-2
Zerstörungsfreie Prüfungen 5-2
Zerstörungstauchdruck 4-2
Zerstörungstauchdruck CDP A-12
Zerstörungstauchtiefe CDD 2-4, 4-2
Zertifizierung 1-2, 1-6
Zertifizierung nach anderen Vorschriften 1-7

Zertifizierung nach GL-Vorschriften 1-7, 17-1

Zugelassene Werkstoffe 5-1

Zulässige Spannungen 5-7

Zulassung durch den GL 1-7, 5-2, 5-3, C-1, C-2

Abschnitt 1

Klassifikation und Zertifizierung von bemannten Unterwasserfahrzeugen

A. Geltungsbereich

1. Die folgende Vorschrift gilt für den Bau von bemannten Unterwasserfahrzeugen, die durch den Germanischen Lloyd (GL) klassifiziert bzw. zertifiziert werden sollen, einschließlich deren Andock-, Bedienungs- und Überwachungseinrichtungen.

Die Anforderungen an die erforderlichen Steuerungs- und Versorgungseinrichtungen sowie die erforderlichen Einrichtungen für Aussetzen, Bergen und Stauung der Unterwasserfahrzeuge auf dem Versorgungsschiff sind in Abschnitt 17 zusammengefasst.

Als Unterwasserfahrzeuge sind zu verstehen:

Bemannte zivile, autonome, nicht-autonome oder unabhängige, freischwimmende Fahrzeuge, einschließlich deren Andock- und Versorgungseinrichtungen zur Lebenserhaltung.

2. Autonome Unterwasserfahrzeuge

Im Sinne dieser Vorschrift gelten Unterwasserfahrzeuge, welche während des Einsatzes nicht physisch mit dem zugehörigen Versorgungsschiff (z.B. durch ein Umbilical) verbunden sind, als autonome Unterwasserfahrzeuge.

3. Nicht-autonome Unterwasserfahrzeuge

Im Sinne dieser Vorschrift gelten Unterwasserfahrzeuge, welche während des Einsatzes stets physisch mit dem zugehörigen Versorgungsschiff (z.B. durch ein Umbilical) verbunden sind, als nicht-autonome Unterwasserfahrzeuge.

4. Unabhängige Unterwasserfahrzeuge

Im Sinne dieser Vorschrift gelten Unterwasserfahrzeuge, welche offshore ohne Versorgungsschiff operieren können, als unabhängige Unterwasserfahrzeuge.

5. Weitere Begriffsbestimmungen siehe Abschnitt 2, C.

B. Klassifikation und Klassenzeichen

1. Klassifikation

1.1 Möglichkeit der Klassifikation

Bemannte Unterwasserfahrzeuge können klassifiziert werden und sind dann entsprechend dem Klassenlauf wiederkehrenden Prüfungen durch den GL zu unterziehen.

1.2 Grundlagen der Klassifikation

Als Grundlage für die Klassifikation von Unterwasserfahrzeugen gilt diese Klassifikations- und Bauvorschrift.

Für nicht in dieser Vorschrift definierte Anforderungen sind die übrigen Bauvorschriften des GL anzuwenden.

Der Begriff "Bauvorschriften" schließt Werkstoff- und Schweißvorschriften sowie andere vom GL herausgegebene Bauvorschriften ein, vgl. Abschnitt 2, B.

1.3 Umfang der Klassifikation

Die Klassifikation umfasst das gesamte Unterwasserfahrzeug einschließlich seiner maschinenbaulichen, schiffbaulichen und elektrotechnischen Einrichtungen.

Eine Übersicht, welche zusätzliche Systemelemente des Gesamtsystems im Allgemeinen zu klassifizieren sind, gibt Tabelle 1.1.

1.4 Klassenzertifikat

Das Klassenzertifikat für Unterwasserfahrzeuge wird durch die GL-Unternehmenszentrale ausgestellt. Es ist an Bord mitzuführen.

1.5 Klassenregister

Die vom GL klassifizierten Unterwasserfahrzeuge werden unter Angabe des Klassenzeichens und der wichtigsten technischen Daten im Register geführt und in die Liste der Unterwasserfahrzeuge aufgenommen.

1.6 Betriebsaufzeichnungen

Für Unterwasserfahrzeuge sind Betriebsaufzeichnungen zu führen, in dem Einzelheiten über den Einsatz (Tauchtiefe, Einsatzzeit, Beschädigungen, Wartung, Reparaturen usw.) eingetragen werden müssen. Die Betriebsaufzeichnungen sind dem GL-Besichtiger auf Verlangen vorzulegen.

2. Klassenbezeichnung

2.1 Klassenzeichen und Zusätze lauten:

– für das Unterwasserfahrzeug

100A5 SUBMERSIBLE

Die Zahl 5 kennzeichnet die Dauer des Klassenlaufes in Jahren.

– für Maschinenanlagen

MC S

– Sofern das Fahrtgebiet eingeschränkt ist, ist dieses im Klassenzertifikat festzulegen.

2.2 Unterwasserfahrzeuge, die unter Aufsicht sowie unter Einhaltung der Vorschriften des GL aus vom GL nach seinen Vorschriften geprüften Werkstoffen und Bauteilen erbaut worden sind, erhalten ✠ vor dem Klassenzeichen.

2.3 Unterwasserfahrzeuge, die unter Aufsicht und nach den Vorschriften einer anderen anerkannten Klassifikationsgesellschaft gebaut worden sind, erhalten, wenn sie in die Klasse des GL übernommen werden, ✠ vor dem Klassenzeichen.

2.4 Bei Unterwasserfahrzeugen und deren Einrichtungen, die nicht einer konventionellen Bauart entsprechen, behält sich der GL das Recht vor, zusätzliche Prüfungen vorzusehen, besondere Besichtigungstermine anzuordnen und besondere Eintragungen im Zertifikat des Unterwasserfahrzeugs und im Register vorzunehmen.

3. Gültigkeit der Klasse

3.1 Unterwasserfahrzeuge und ihre Maschinenanlagen haben stets den gleichen Klassenlauf. Die Klasse ist gültig, solange das Unterwasserfahrzeug und seine Maschinenanlage allen vorgeschriebenen Besichtigungen unterzogen werden und etwa erforderliche Änderungen und Reparaturen zur Zufriedenheit des GL ausgeführt werden.

3.2 Wird das Unterwasserfahrzeug nicht rechtzeitig zu den vorgeschriebenen Besichtigungen vorgestellt, ruht die Klasse.

3.3 Wenn das Unterwasserfahrzeug oder dessen Maschinenanlage einen Schaden erlitten hat, der die Klassenwürdigkeit beeinträchtigt oder wenn ein solcher Schaden zu vermuten ist, muss vor Fahrtbeginn bzw. vor dem Einsatz des Unterwasserfahrzeugs eine Besichtigung durchgeführt werden. Der GL ist von solchen Schäden unaufgefordert in Kenntnis zu setzen.

Tabelle 1.1 Klassifikation und Zertifizierung von bemannten Unterwasserfahrzeugen

Systemelemente	Arten von bemannten Unterwasserfahrzeugen		
	nicht-autonom	**autonom**	**unabhängig**
Unterwasserfahrzeug: (Abschnitte 1 – 16)			
Unterwasserfahrzeug selbst, einschließlich Umbilical und Andockeinrichtung, falls vorhanden	Klassifikation U-Boot-Zertifizierung	Klassifikation U-Boot-Zertifizierung	Klassifikation U-Boot-Zertifizierung
Kommunikationseinrichtung des Versorgungsschiffes zum Unterwasserfahrzeug, falls vorhanden	Klassifikation U-Boot-Zertifizierung	Klassifikation U-Boot-Zertifizierung	–
Unterstützende Einrichtungen auf dem Versorgungsschiff: (Abschnitt 17)			
Versorgungseinrichtungen [1] und deren Kontrolle	Zertifizierung [2]	Zertifizierung [2]	–
Aussetz- und Bergeeinrichtung, einschließlich Umbilicalwinde, falls vorhanden	Zertifizierung [3]	Zertifizierung [3]	– [4]
Stauung und Decktransport	Eignungsnachweis [5]	Eignungsnachweis [5]	– [4]

[1] Lebenserhaltungssysteme sind Bestandteil der Klassifikation bzw. der U-Boot-Zertifizierung

[2] GL-Zertifikat oder ein Zertifikat einer anerkannten Institution, sofern nicht Inhalt des Klassenzertifikats des Versorgungsschiffes

[3] GL-Zertifikat oder ein Zertifikat einer anerkannten Institution

[4] Falls bei diesem Typ vorhanden, kann diese Einrichtung vom GL zertifiziert werden.

[5] z.B. Prüfstempel, Prüfplakette für Zurrmittel usw.; Nachweis für Winden, Decksbefestigung usw.

3.4 Wird festgestellt, dass das Unterwasserfahrzeug nicht mehr die Bedingungen erfüllt, welche die Voraussetzung für die Erteilung der Klasse waren, und verweigert der Betreiber eine vom GL geforderte Instandsetzung oder Änderung innerhalb einer zu vereinbarenden Frist, erlischt die Klasse für das Unterwasserfahrzeug.

3.5 Wenn die vom GL geforderte Instandsetzung oder Änderung ausgeführt wurde und eine Besichtigung zur Wiederaufnahme erfolgte, kann die ursprüngliche Klasse wieder erteilt werden. Die Besichtigung ist im Umfang einer Klassenerneuerungsbesichtigung durchzuführen.

3.6 Bei aufliegenden Unterwasserfahrzeugen bleibt der Klassenlauf unverändert bestehen. Fällige Besichtigungen können auf Antrag bis zur Wiederindienststellung des Unterwasserfahrzeugs ausgesetzt werden, wobei der Gesamtumfang der danach erforderlichen Besichtigungen vom GL in jedem Einzelfall festgelegt wird.

3.7 Sobald aus irgendeinem Grunde die Klasse erloschen oder durch den GL entzogen ist, wird die Klasse im Register nicht weiter geführt. Die Klassenzertifikate sind an den GL zurückzugeben.

C. Klassifikation von Unterwasserfahrzeugen, die unter Aufsicht und nach den Vorschriften des GL gebaut oder umgebaut werden

1. Allgemeines

1.1 Der Antrag auf Klassifikation eines Unterwasserfahrzeugs ist vom Hersteller oder dem Betreiber schriftlich an den GL zu richten.

1.2 Unterlagen über das Unterwasserfahrzeug sind dem GL im Allgemeinen in dreifacher bzw. bei elektronischer Übermittlung in einfacher Ausfertigung zur Prüfung einzureichen.

1.3 Abweichungen von den genehmigten Unterlagen bedürfen vor Ausführung der Zustimmung des GL.

1.4 Unter Aufsicht des GL durchzuführende Prüfungen sind dem Besichtiger rechtzeitig anzumelden.

1.5 Nach Fertigstellung und erfolgreicher Erprobung des Unterwasserfahrzeugs wird das Klassenzertifikat vom GL ausgestellt.

2. Bauaufsicht

2.1 Werkstoffe von Neuanlagen, Ersatz- und Reparaturteilen müssen, wie in den Bauvorschriften angegeben, nach den Werkstoffvorschriften des GL geprüft werden.

2.2 Prüfpflichtige Teile des Unterwasserfahrzeugs werden anhand der genehmigten Unterlagen auf ihre Ausführung während der Herstellung überprüft.

2.3 Die Einzelkomponenten des Unterwasserfahrzeugs sind beim Hersteller einer Festigkeits- und ggf. Funktionsprüfung zu unterziehen. Bei neuartigen oder an Bord von Schiffen oder Unterwasserfahrzeugen noch nicht bewährten Komponenten kann der GL eine weitergehende Erprobung verlangen.

2.4 Der Zusammenbau des Unterwasserfahrzeugs und der Einbau der Maschinenanlage und elektrischen Einrichtungen wird von den GL-Besichtigern überwacht, die Arbeitsausführung wird geprüft und die vorgeschriebenen Dichtheits- und Funktionsprüfungen werden durchgeführt.

2.5 Nach Fertigstellung wird das Unterwasserfahrzeug einschließlich aller schiffbaulichen, maschinenbaulichen und elektrotechnischen Einrichtungen und den gegebenenfalls erforderlichen Versorgungseinrichtungen unter Betriebsbedingungen gemäß den Vorschriften in Abschnitt 2 geprüft.

2.6 Für die Durchführung seiner Aufgaben ist dem GL-Besichtiger freier Zutritt zum Unterwasserfahrzeug und zu den Werkstätten, in denen prüfpflichtige Teile gefertigt, montiert oder getestet werden, zu gestatten sowie personelle und sachliche Unterstützung der Werft oder des Herstellerwerkes zu gewähren. Die Einhaltung der Vorschriften für die Arbeitsausführung gemäß H. ist vom Besichtiger zu überprüfen.

D. Klassifikation von Unterwasserfahrzeugen, die nicht unter Aufsicht des GL gebaut worden sind

1. Allgemeines

1.1 Der Antrag auf Klassifikation von Unterwasserfahrzeugen, die nicht unter Aufsicht des GL gebaut worden sind, ist schriftlich an den GL zu richten.

1.2 Mit dem Antrag auf Klassenaufnahme sind Unterlagen über das Unterwasserfahrzeug und die ggf. erforderlichen Versorgungseinrichtungen in dem Umfang zur Prüfung einzureichen, wie er in den Bauvorschriften angegeben ist. Die Dokumentation der Funktionsprüfungen ist vorzulegen, gegebenenfalls sind einzelne Prüfungen nachzuholen.

1.3 Bisherige Klasse und Klassenlauf sowie Auflagen der bisherigen Klasse sind dem GL mitzuteilen.

1.4 Hat das Unterwasserfahrzeug laufende Klasse einer anerkannten Klassifikationsgesellschaft,

kann in Ausnahmefällen die Einsendung eines Satzes der erforderlichen Unterlagen genügen.

2. Durchführung der Klassenaufnahme

2.1 Für die Klassenaufnahme ist das Unterwasserfahrzeug im Umfang einer Klassenerneuerung zu besichtigen.

2.2 Hat das Unterwasserfahrzeug laufende Klasse einer anerkannten Klassifikationsgesellschaft, kann auf die Besichtigung einzelner Teile bis zum nächsten Fälligkeitstermin verzichtet und eine Besichtigung im Rahmen einer jährlichen Besichtigung für ausreichend erklärt werden.

2.3 Auf Grund der Klassenaufnahmeberichte der Besichtiger wird bei befriedigendem Befund das Klassenzertifikat ausgestellt. Nach Aufnahme in die Klasse des GL gelten die gleichen Bestimmungen wie für Unterwasserfahrzeuge, die unter Aufsicht des GL gebaut worden sind.

E. Besichtigungen für die Erhaltung der Klasse

1. Arten der Besichtigungen

Unterwasserfahrzeuge, welche die Klasse des GL haben, müssen zur Aufrechterhaltung der Klasse folgenden Besichtigungen unterzogen werden:

1.1 Jährliche Besichtigung, siehe 3.1.

1.2 Zwischenbesichtigung, siehe 3.2.

Die Zwischenbesichtigung ist nominell 2,5 Jahre nach der Indienststellung und nach jeder Klassenerneuerung fällig und kann anlässlich der zweiten oder dritten jährlichen Besichtigung durchgeführt werden.

1.3 Klassenerneuerungsbesichtigung nach Ablauf von fünf Jahren, siehe 3.3.

1.4 Schadensbesichtigung, wenn das Unterwasserfahrzeug oder Teile davon einen Schaden erlitten haben, so dass die Betriebsfähigkeit beeinträchtigt ist, siehe 3.4.

1.5 Der GL behält sich vor, in begründeten Fällen außerplanmäßige Besichtigungen durchführen zu lassen. Solche Besichtigungen können auf vorgeschriebene Besichtigungen angerechnet werden.

1.6 Aggregate und Komponenten sind für Besichtigungen zugänglich herzurichten. Können diese an Bord nicht bzw. nur mit unvertretbarem Aufwand zur Besichtigung hergerichtet werden, kann auf Antrag die Besichtigung auch im Herstellerwerk oder einer anderen autorisierten Werkstatt durchgeführt werden.

2. Erläuterungen zu den Besichtigungen

2.1 Vorgeschriebene Besichtigungen und beabsichtigte Ausbesserungen oder Änderungen müssen so rechtzeitig bei der örtlichen Vertretung des GL angemeldet werden, dass die Ausführung überwacht werden kann.

2.2 Ergebnisse jeder Besichtigung sowie besondere Auflagen für die Fortdauer der Klasse werden in das Klassenzertifikat eingetragen. Im Register werden neben dem Klassenzeichen Monat und Jahr der Klasse, Monat und Jahr der letzten jährlichen Besichtigung oder der letzten Klassenerneuerungsbesichtigung angegeben.

2.3 Die vom Besichtiger erstellte Berichterstattung wird seitens des GL geprüft. Eine Veröffentlichung im Register Teil 2 über eine durchgeführte Besichtigung erfolgt nach entsprechender Anerkennung.

2.4 Werden nur vorläufige Ausbesserungsarbeiten durchgeführt oder hält der Besichtiger eine sofortige Instandsetzung oder Erneuerung nicht für erforderlich, so kann die Klasse des Unterwasserfahrzeugs für eine begrenzte Zeit durch eine Eintragung im Klassenzertifikat bestätigt werden. Die Aufhebung der Einschränkungen muss im Klassenzertifikat vermerkt werden.

2.5 Beschädigte Teile und Teile, die so abgenutzt sind, dass sie nicht mehr den Anforderungen des GL genügen, müssen instand gesetzt oder erneuert werden.

2.6 Muss ein Unterwasserfahrzeug in einem Hafen besichtigt werden, in dem oder in dessen Nähe sich kein Agent oder Besichtiger des GL befindet, so ist der zuständige Konsul, eine sachverständige Dienststelle oder der Havarie-Kommissar der zuständigen Versicherungsgesellschaft zu ersuchen, eine Besichtigung durch einen Sachverständigen zu veranlassen. Die Beauftragung des Sachverständigen ist durch den Konsul, die Dienststelle oder den Havarie-Kommissar zu bestätigen. Der hinzugezogene Sachverständige ist aufzufordern, sofort einen Bericht über den Zustand sowie über die Ausbesserungsarbeiten und über die getroffene Entscheidung an den GL zu senden. Ein Durchschlag des Berichtes bleibt an Bord. Das Urteil des Sachverständigen unterliegt der Zustimmung des GL, der entscheidet, ob das Unterwasserfahrzeug erneut besichtigt werden muss.

3. Durchführung der Besichtigungen

Die Besichtigungen sind nach den folgenden Kriterien durchzuführen. Sollten die Betriebssysteme eines Unterwasserfahrzeugs vom Standardfall abweichen, so können die Besichtigungsumfänge in Abstimmung mit dem GL entsprechend angepasst werden.

3.1 Jährliche Besichtigung

Die jährliche Besichtigung eines Unterwasserfahrzeugs umfasst mindestens folgende Prüfungen und Kontrollen:

3.1.1 Überprüfung der Dokumente für das Unterwasserfahrzeug und Einsicht in die Betriebsaufzeichnungen.

3.1.2 Druckkörper außen und innen sowie Außenstruktur einschließlich aller Anbauten, Durchführungen, Fenster, Türen und Verschlüsse, Dichtungen, Verriegelungseinrichtungen usw. werden auf sichtbare Beschädigungen, Anrisse, Verformungen, Anrostungen und Verschmutzungen usw. kontrolliert.

3.1.3 Kontrolle der Korrosionsschutzmaßnahmen (z.B. Anoden)

3.1.4 Alle sonstigen Behälter und Apparate unter äußerem oder innerem Überdruck, Armaturen und Sicherheitseinrichtungen werden einer äußeren Besichtigung unterzogen.

3.1.5 Die gesamte Maschinenanlage sowie die elektrische Anlage einschließlich aller Redundanzsysteme werden einer äußeren Besichtigung unterzogen.

3.1.6 Kontrolle, dass Isolationsmessungen der E-Anlage vorgenommen wurden.

3.1.7 Überprüfung der Sicherheitseinrichtungen einschließlich der Ansprechdrücke der Sicherheitsventile sowie der Schaltpunkte der Sicherheitseinrichtungen.

3.1.8 Funktionstest aller Alarmsysteme.

3.1.9 Die Umschaltung der elektrischen Energieversorgung auf die Notstromversorgung wird überprüft.

3.1.10 Alle betriebswichtigen Messeinrichtungen werden auf ihre Anzeigegenauigkeit überprüft (z.B. Tauchtiefenmesser, Gasanalysegeräte u.ä.).

3.1.11 Alle Not- und Sicherheitssysteme (z.B. Abwurfeinrichtungen, Markierungsboje, Rettungsgeräte) werden - soweit sinnvoll - einer Funktionsprobe unterzogen.

3.1.12 Funktionstest der Lebenserhaltungssysteme.

3.1.13 Dichtheitsprüfungen der Lebenserhaltungssysteme und des Ballastsystems bei zulässigem Betriebsüberdruck.

3.1.14 Überprüfung der Funktionalität der Feuermelde- und Löscheinrichtungen.

3.1.15 Schlauchleitungen werden auf sichtbare Schäden überprüft.

3.1.16 Die Acrylglasscheiben werden einer Sichtprüfung auf Anrisse, Kratzer, Änderungen der Struktur (Crazing) unterzogen. Soweit im eingebauten Zustand möglich, sind die Auflagefläche, sowie die Fensterdichtung zu kontrollieren.

3.1.17 Das Umbilical sowie Tragseil - soweit vorhanden - werden auf sichtbare Beschädigungen, Anrisse, Verformungen und Anrostungen kontrolliert.

3.1.18 Die Funktion der Datenübertragungs- und Kommunikationseinrichtungen wird überprüft.

3.1.19 Bei Verwendung von Atemluftkompressoren ist die Qualität der erzeugten Druckluft, z.B. nach EN 12021 nachzuweisen.

3.1.20 Druckkammern/Taucherausstiege des Unterwasserfahrzeugs werden Funktionsprüfungen und einem Dichtheitstest bei zulässigem Betriebsüberdruck mit dem jeweiligen Betriebsmedium unterzogen.

3.1.21 Die Andockeinrichtung des Unterwasserfahrzeugs - soweit vorhanden - wird auf sichtbare Beschädigungen, Anrisse, Verformungen und Anrostungen kontrolliert und, sofern möglich, einer Funktionsprobe unterzogen.

3.1.22 Die Funktionsfähigkeit des Gesamtsystems wird im Rahmen eines Probetauchgangs überprüft.

3.2 Zwischenbesichtigung

Eine Zwischenbesichtigung ist eine jährliche Besichtigung entsprechend 3.1, die um nachstehenden Umfang erweitert ist:

3.2.1 Durchführung einer Dichtheitsprüfung der Druckkörperdurchführungen und -verschlüsse durch Unterdruckprobe mit mindestens 0,2 bar unter Atmosphärendruck.

3.2.2 Dichtheitsprüfung der absperrbaren Tauchzellen mit Luft bei einem Prüfdruck von ca. 0,2 bar Überdruck vorzugsweise am vollständig eingetauchten Unterwasserfahrzeug bzw. an offenen Tauchzellen Dichtheitsprüfungen der Entlüftungsventile.

3.2.3 Durchführung eines Dichtheitstests der Druckbehälter unter äußerem Druck durch Unterdruckprobe mit mindestens 0,2 bar unter Atmosphärendruck oder anderen geeigneten Prüfverfahren, soweit erforderlich.

3.2.4 Dichtheitsprüfung des Regelsystems.

3.2.5 Dichtheitsprüfung der Schlauchleitungen.

3.2.6 Äußere Besichtigung und gegebenenfalls Funktionsprüfung der zum Unterwasserfahrzeug gehörenden Anbauteile/Arbeitsgeräte.

3.3 Klassenerneuerungsbesichtigung

Zusätzlich zu den unter 3.2 aufgeführten Besichtigungen werden folgende Prüfungen und Untersuchungen bei Klassenerneuerungsbesichtigungen vorgenommen:

3.3.1 Sichtprüfung der Befestigungen, Lager- und Kupplungselemente aller Maschinen und Geräte.

3.3.2 Allseitige Besichtigung der Außenhautverkleidungen und Auftriebsmittel (druckfester Schaum). Dazu sind gegebenenfalls die Verkleidungen zu entfernen.

3.3.3 Am Druckkörper sowie am Taucherausstieg werden Maßkontrollen und zerstörungsfreie Wanddickenkontrollen durchgeführt. Soweit erforderlich, sind hierzu Auftriebsmaterial, Verkleidungen oder Wärmedämmschichten zu entfernen.

3.3.4 Kontrolle der Bereiche der Struktur, die nur schwer zugänglich sind, gegebenenfalls mit Hilfe eines zerstörungsfreien Prüfverfahrens.

3.3.5 Es wird ein Notballastabwurf und eine anschließende Schwimmfähigkeitsüberprüfung durchgeführt.

3.3.6 Innere Besichtigung von Behältern und Apparaten unter Druck. Können diese innen nicht einwandfrei besichtigt werden oder lässt sich deren einwandfreier Zustand bei der inneren Besichtigung nicht eindeutig erkennen, ist ein anderes zerstörungsfreies Prüfverfahren anzuwenden und/oder eine hydraulische Druckprüfung vorzunehmen. Soweit erforderlich, sind hierzu Auftriebsmaterialien, Verkleidungen oder Wärmedämmschichten zu entfernen.

3.3.7 Die Prüfungen entsprechend 3.1.16 sind bei ausgebauten Acrylglasscheiben durchzuführen.

3.3.8 Kontrolle, dass Betriebsmittel, insbesondere Schlauchleitungen und Kompensatoren gemäß dem Instandhaltungsplan gewechselt werden.

3.3.9 Werden an einem Unterwasserfahrzeug oder Teilen hiervon innerhalb des Klassenlaufes Besichtigungen durchgeführt, die dem Umfang nach einer Klassenerneuerungsbesichtigung entsprechen, kann auf Antrag des Betreibers die reguläre Klassenerneuerungsbesichtigung für die betreffenden Teile entsprechend verschoben werden.

3.4 Schadensbesichtigung

3.4.1 Sind am Unterwasserfahrzeug Schäden entstanden, die die Klassenwürdigkeit beeinträchtigen oder ist ein solcher Schaden zu vermuten, ist eine Schadensbesichtigung durchzuführen.

3.4.2 Nach einem Schaden ist das Unterwasserfahrzeug so zur Besichtigung zu stellen, dass eine einwandfreie Untersuchung erfolgen kann. Den Umfang einer Schadensbesichtigung legt der GL jeweils im Einzelfall fest.

3.5 Außerordentliche Besichtigung

3.5.1 Bei Änderung der Konstruktion, der Betriebsweise oder der Ausrüstung sowie nach wesentlichen Ausbesserungen am Unterwasserfahrzeug ist eine außerordentliche Besichtigung durchzuführen.

3.5.2 Werden Änderungen am Unterwasserfahrzeug vorgenommen, die Auswirkungen auf die Schwimmfähigkeit oder Stabilität haben, sind im Beisein des Besichtigers entsprechende Krängungs- und Trimmversuche durchzuführen.

F. Besichtigungen außerhalb der Klassifikation

1. Besichtigung nach Sondervereinbarungen

Besichtigungen, die durch behördliche Verordnungen, internationale Übereinkommen oder sonstige Bestimmungen erforderlich sind, führt der GL auf Antrag bzw. im Auftrage gemäß den jeweiligen Bestimmungen durch.

2. Sicherheitstechnische Besichtigungen

2.1 Der GL führt auf Antrag für alle in sicherheitstechnischer Hinsicht wichtigen Bauteile (z.B. Apparate und Behälter unter Druck usw.) die Zeichnungsprüfung, alle erforderlichen Besichtigungen und Abnahmeprüfungen sowie Druckversuche durch und stellt darüber Bescheinigungen aus.

2.2 Ebenso führt der GL auf Antrag die für die Behälter und Apparate unter Druck erforderlichen wiederkehrenden Prüfungen durch.

G. Zertifizierung

1. Allgemeines

1.1 Der Antrag auf Zertifizierung eines Unterwasserfahrzeugs ist vom Hersteller oder Betreiber schriftlich an den GL zu richten.

1.2 Unterlagen für das Unterwasserfahrzeug sind dem GL im Allgemeinen in dreifacher Ausfertigung bzw. bei elektronischer Übermittlung in einfacher Ausfertigung zur Prüfung einzureichen. Der Umfang der einzureichenden Unterlagen richtet sich nach der Bauart und Ausrüstung des Unterwasserfahrzeugs und ergibt sich aus Abschnitt 2, E.

1.3 Unter Aufsicht des GL durchzuführende Prüfungen sind dem GL rechtzeitig anzumelden.

2. Zertifizierung nach GL-Vorschriften

2.1 Möglichkeit der Zertifizierung

Bemannte Unterwasserfahrzeuge, die nach den Vorschriften und unter Aufsicht des GL gebaut und geprüft werden, können ein U-Boot-Zertifikat des GL erhalten.

2.2 Umfang der Zertifizierung

Die Zertifizierung umfasst das gesamte Unterwasserfahrzeug einschließlich seiner maschinenbaulichen, schiffbaulichen und elektrotechnischen Einrichtungen.

Eine Übersicht, welche zusätzlichen Systemelemente zertifiziert werden, gibt Tabelle 1.1.

2.3 U-Boot -Zertifikat

2.3.1 Nach Fertigstellung und erfolgreicher Erprobung des Unterwasserfahrzeugs wird ein U-Boot-Zertifikat vom GL ausgestellt.

2.3.2 Mit dem Zertifikat wird der technische Zustand des Fahrzeugs zum Zeitpunkt der Prüfungen und Abnahmen durch den GL bescheinigt. Ferner wird bescheinigt, dass dem Betrieb des Unterwasserfahrzeugs keine sicherheitstechnischen Bedenken entgegenstehen.

2.3.3 Die Gültigkeit des U-Boot-Zertifikats beträgt maximal 5 Jahre und kann nach erneuter Prüfung verlängert werden. Zur Aufrechterhaltung des Zertifikats ist das Unterwasserfahrzeug in der Regel einer jährlichen Prüfung zu unterziehen. Der Umfang ist im Einzelfall mit dem GL abzustimmen.

Das U-Boot-Zertifikat verliert seine Gültigkeit, wenn wesentliche Änderungen an dem Unterwasserfahrzeug ausgeführt wurden bzw. das Fahrzeug einen erheblichen Schaden erlitten hat, sofern die Änderung bzw. Reparatur nicht durch den GL genehmigt und abgenommen wurde.

3. Zertifizierung nach anderen Vorschriften

3.1 Bei bemannten Unterwasserfahrzeugen, die nicht nach den Vorschriften des GL gebaut werden, sind mit dem Antrag auf Zertifizierung die hierfür angewendeten Regeln verbindlich anzugeben.

3.2 Unterwasserfahrzeuge, die nach anderen anerkannten Regeln und unter Aufsicht des GL gebaut und geprüft werden, können ein Zertifikat des GL erhalten.

H. Arbeitsausführung

1. Allgemeines

1.1 Anforderungen, die durch Hersteller und Zulieferer zu erfüllen sind

1.1.1 Jeder Betrieb eines Herstellers/Zulieferers muss über geeignete Einrichtungen verfügen, die eine fachgerechte und einwandfreie Handhabung der jeweiligen Werkstoffe, Fertigungsverfahren, Bauteile usw. ermöglichen. Der GL behält sich vor, die Betriebe daraufhin zu überprüfen und diesbezügliche Forderungen zu stellen oder den Fertigungsumfang entsprechend den Möglichkeiten des Betriebes zu begrenzen.

Für sicherheitsrelevante Komponenten und Bauteile ist vom GL festzulegen, ob der Hersteller/Zulieferer eine entsprechende Zulassung durch den GL benötigt. Als sicherheitsrelevant gelten Komponenten und Bauteile, von denen eine unmittelbare Gefahr für Personen ausgehen kann.

1.1.2 Die Betriebe müssen über fachlich genügend qualifiziertes Personal verfügen. Das Aufsichts- und Kontrollpersonal ist dem GL zu benennen, die Verantwortungsbereiche sind festzulegen. Der GL behält sich vor, Qualitätsnachweise zu verlangen.

1.2 Qualitätskontrolle

1.2.1 Der Hersteller/Zulieferer soll ein Qualitätssicherungssystem, wie z.B. ISO 9001 oder gleichwertig anwenden.

1.2.2 Alle Bauteile sind werksseitig - soweit erforderlich und zweckmäßig - während der Fertigung und nach Fertigstellung auf Vollständigkeit, Maßhaltigkeit und einwandfreie Arbeitsausführung gemäß guter Ingenieurpraxis zu kontrollieren.

1.2.3 Nach werksseitiger Kontrolle und ggf. Nachbesserung sind die Bauteile dem Besichtiger des GL in zweckmäßigen Bauabschnitten, normalerweise unbeschichtetem Zustand und gut zugänglich zur Überprüfung vorzustellen.

1.2.4 Der Besichtiger kann unzureichend vorkontrollierte Bauteile zurückweisen und deren erneute Vorstellung nach erfolgreicher werksseitiger Kontrolle und, falls erforderlich, Nachbesserung verlangen.

2. Angaben in den Fertigungsunterlagen

2.1 In den Fertigungsunterlagen (Werkstattzeichnungen usw.) sollen alle diejenigen Angaben enthalten sein, die für die Güte und Funktionsfähigkeit des jeweiligen Bauteils von Bedeutung sind. Hierzu gehören neben den Abmessungen - soweit erforderlich - Angaben über Oberflächengüten (z.B. Nacharbeiten von Brennkanten und Schweißnähten), besondere Fertigungsmethoden sowie Prüfungen und Anforderungen und gegebenenfalls über erforderliche Toleranzen.

Sofern ein Standard (Werksnorm, nationaler Standard usw.) verwendet werden soll, so muss dieser mit dem GL abgestimmt sein.

2.2 Sind aufgrund unzureichender oder fehlender Angaben in den Fertigungsunterlagen Güte bzw. Funktionsfähigkeit eines Bauteils nicht gewährleistet oder bestehen Zweifel hieran, kann der GL entsprechende Verbesserungen verlangen. Dies gilt sinngemäß für ergänzende oder zusätzliche Bauteile (z.B. Verstärkungen), auch wenn diese bei der Zeichnungsprüfung nicht gefordert worden sind oder - wegen nicht genügend detaillierter Darstellung - nicht gefordert werden konnten.

Abschnitt 2

Grundsätze für den Bau von bemannten Unterwasserfahrzeugen

A. Allgemeine Grundsätze

1. Soweit zweckmäßig und durchführbar, sind Unterwasserfahrzeuge so zu entwerfen und zu bauen, dass das Versagen eines beliebigen Einzelteils keine gefährliche Situation verursachen kann.

2. Unterwasserfahrzeuge und deren Bauteile sind für die Bedingungen auszulegen, unter denen sie laut Spezifikation eingesetzt werden sollen.

3. Unterwasserfahrzeuge sind so zu entwerfen und zu bauen, dass ein sicherer Betrieb, eine ausreichende Wartung und die erforderlichen Besichtigungen durchgeführt werden können.

4. Unterwasserfahrzeuge sind so zu konstruieren und zu bauen, dass der Fahrzeugführer während der Tauchfahrt einen ausreichenden Ausblick nach vorn hat. Für Fahrten an der Wasseroberfläche sollte die Möglichkeit des Rundumblickes gegeben sein. Dies kann entweder durch entsprechende Sichtfenster oder durch optische Geräte erreicht werden.

5. Unterwasserfahrzeuge mit Taucherausstieg sind so zu konstruieren und zu bauen, dass ein sicherer Transport sowie ein gefahrloses Ein- und Aussteigen der Taucher unter Druck möglich ist.

B. Zu berücksichtigende Vorschriften

1. Vorschriften des GL

1.1 Die folgenden Vorschriften gelten als zusätzliche Anforderungen für die Klassifikation und den Bau von Unterwasserfahrzeugen in Ergänzung zu den Klassifikations- und Bauvorschriften für diese Fahrzeuge:

– Teil 0 – Klassifikation und Besichtigungen

– Teil 1 – Seeschiffe, Kapitel 1- 4

– II – Werkstoffe und Schweißtechnik, Teil 1-3

1.2 Bei Unterwasserfahrzeugen mit Taucherausstieg sind für die betreffenden Teile neben den folgend aufgeführten Vorschriften auch die GL-Vorschriften für Tauchanlagen und Tauchsimulatoren (I-5-1) zu berücksichtigen.

1.3 Bezüglich der unterstützenden Einrichtungen auf dem Versorgungsschiff siehe Abschnitt 17.

1.4 Von den Bauvorschriften abweichende Ausführungen können zugelassen werden, wenn sie vom GL als gleichwertig anerkannt worden sind.

1.5 Unterwasserfahrzeuge oder Teile hiervon, deren Entwicklung auf neuartigen Grundlagen beruht und die im praktischen Betrieb noch nicht ausreichend erprobt sind, bedürfen einer besonderen Genehmigung des GL.

1.6 In den unter 1.4. und 1.5 aufgeführten Fällen ist der GL berechtigt, die Vorlage zusätzlicher Unterlagen und die Durchführung besonderer Erprobungen zu verlangen.

1.7 Der GL behält sich das Recht vor, über die Forderungen der Vorschriften hinaus für alle Arten von Unterwasserfahrzeugen zusätzliche Forderungen zu erheben, wenn es aufgrund neuer Erkenntnisse oder Betriebserfahrungen unvermeidlich geworden sein sollte oder aber in besonders begründeten Fällen Abweichungen von den Vorschriften zuzulassen.

2. Nationale Vorschriften

Neben den Vorschriften des GL bestehende nationale Vorschriften bleiben unberührt.

3. Internationale Vorschriften und Codes

Wird auf internationale Konventionen und Codes hingewiesen, so sind diese im Folgenden beispielhaft aufgelistet:

3.1 ILLC 66

Internationales Freibord-Übereinkommen von 1966, einschließlich Ergänzungen.

3.2 MARPOL 73/78

Internationales Übereinkommen von 1973 zur Verhütung der Meeresverschmutzung durch Schiffe, einschließlich des Protokolls von 1978, einschließlich Änderungen.

3.3 SOLAS 74

Internationales Übereinkommen von 1974 zum Schutz des menschlichen Lebens auf See, einschließlich Änderungen.

3.4 LSA

International Life-Saving Appliances Code, herausgegeben durch IMO, in der aktuellen Fassung.

3.5 COLREGS 1972

Internationalen Regeln von 1972 zur Verhütung von Zusammenstößen auf See.

3.6 MSC/Circ. 981

Guidelines for the Design, Construction and Operation of Passenger Submersible Craft entsprechend IMO MSC/Circ. 981 vom 29. Januar 2001.

C. Begriffsbestimmungen

1. Allgemeines

Andockvorrichtung

Erforderliche Ausrüstung für den Anschluss eines Unterwasserfahrzeugs mit Taucherausstiegs- bzw. Rettungskammer an eine Druckkammer oder ein anderes Unterwasserfahrzeug.

Arbeitsgeräte (Unterwasser-)

Einrichtungen, z.B. Manipulator, Probenbehälter und Werkzeuge, die am Unterwasserfahrzeug angebracht und zur Ausführung von Unterwasserarbeiten und zur Aufnahme von z.B. Proben bestimmt sind.

Arbeitsmaschinen (Unterwasser-)

Einrichtungen, z.B. Greifer, Ramme, Bohrer und deren Kombination, die im Regelfall von einem Versorgungsschiff eingesetzt werden und zur Ausführung von Unterwasserarbeiten bestimmt sind (siehe GL-Vorschriften Unbemannte Unterwasserfahrzeuge (ROV, AUV) und Unterwasserarbeitsmaschinen (I-5-3), Abschnitt 5.)

Atemgas

Alle Gase/Gemische, die im Verlauf von Unterwassereinsätzen zum Zwecke der Atmung eingesetzt werden.

Außenstruktur

Außenverkleidungen, Tragestrukturen und Anbauten außerhalb des Druckkörpers, die in der Regel nicht für den Tauchdruck ausgelegt sind.

Aussetz- und Bergeeinrichtung

Erforderliche Anlage und Ausrüstung zum Aussetzen und Bergen eines Unterwasserfahrzeugs.

Autonomes Unterwasserfahrzeug

Unterwasserfahrzeug, welches während des Einsatzes nicht physisch mit dem zugehörigen Versorgungsschiff (z.B. durch ein Umbilical) verbunden ist.

Druckbehälter

Behälter, der mit einem inneren oder äußeren Überdruck beaufschlagt wird.

Druckgasflaschen

Flaschen für Lagerung und Transport von Druckgasen.

Druckkammer

Druckbehälter zum Aufenthalt von Personen unter mehr als atmosphärischem Druck.

Druckkörper

Hauptbestandteil eines Unterwasserfahrzeugs, in dem sich die Besatzung unter Atmosphärendruck aufhalten kann und der dem Tauchdruck standhält.

Fahrstand

Zentrale, in der alle wichtigen Anzeigen, Steuer-, Regel- und Kontrollorgane sowie Kommunikationseinrichtungen des Unterwasserfahrzeuges angeordnet sind.

Festhalteeinrichtung

Arbeitsgerät zum kurzzeitigen Festsetzen eines Unterwasserfahrzeugs , z.B. an eine Struktur

Gesamtsystem

Unterwasserfahrzeug einschließlich dessen Andock-, Aussetz-, Berge-, Stauungs-, Transport- und Versorgungseinrichtungen.

Lebenserhaltungssysteme

Einrichtungen zur Gasversorgung, Reinigung, Umwälzung und Klimatisierung der Druckkörperatmosphäre sowie zur Wasser- und Nahrungsmittelversorgung und zur Abfallbeseitigung.

Nicht-autonomes Unterwasserfahrzeug

Unterwasserfahrzeug, welches während des Einsatzes stets physisch mit dem zugehörigen Versorgungsschiff (z.B. durch ein Umbilical) verbunden ist.

Nutzlast der Aussetz- und Bergeeinrichtung SWL

Die Nutzlast **SWL** ist die Last, die direkt von der Aussetz- und Bergeeinrichtung aufgenommen werden darf. Die Eigenlast von Lastaufnahmemitteln, die nicht fest mit der Aussetz- und Bergeeinrichtung verbunden sind, sondern als Bindeglied zwischen Last und Hebezeug dienen, ist Bestandteil der Nutzlast **SWL.**

Positioniereinrichtung

Einrichtung zur Einhaltung einer festgelegten Position (Breite, Länge, Tiefe)

Sichtöffnungen

Öffnungen in Druckkörpern oder Druckkammern zur Aufnahme von druckfesten, ebenen oder gewölbten Acrylglasfenstern.

Tauchdruck

Der jeweiligen Tauchtiefe entsprechender Überdruck, dem ein Unterwasserfahrzeug oder Taucher während eines Unterwassereinsatzes ausgesetzt ist.

Taucherausstieg

Druckkammer einschließlich Ausstieg in einem Unterwasserfahrzeug zum Ein- und Ausstieg und Aufenthalt von Tauchern unter Tauchdruck.

Tragseil

Seil zum Aussetzen und Wiedereinholen, sowie zum Anheben oder Absenken eines nicht-autonomen Unterwasserfahrzeugs.

Umbilical/Versorgungsleitung

Verbindungsglied zwischen Versorgungsschiff und nicht-autonomen Unterwasserfahrzeug, welches Schläuche für Flüssigkeits- oder Gastransport sowie Überwachungs-, Kommunikations-/Datenübertragungs- und Energieversorgungsleitungen sowie gegebenenfalls auch ein Tragseil enthalten kann.

Diese gebündelte oder integrierte Versorgungsleitung kann auch zwischen Unterwasserfahrzeug und Taucher verwendet werden.

Unabhängiges Unterwasserfahrzeug

Unterwasserfahrzeug, das ohne Versorgungsschiff offshore operieren kann.

Unterwasserfahrzeug für Touristikeinsatz

Unterwasserfahrzeug, das in zuvor festgelegten, erkundeten Tauchgebieten in für Oberflächentaucher jederzeit zugänglichen Tiefen eingesetzt wird und mehr als 6 Passagiere aufnehmen kann.

Versorgungseinrichtungen

Einrichtungen auf dem Versorgungsschiff, die insbesondere nicht-autonome, aber auch autonome und unabhängige Unterwasserfahrzeuge mit den für den Betrieb notwendigen Versorgungsgütern, wie z.B. elektrische Energie, Hydraulikflüssigkeit, Atemluft sowie Kommunikation und Überwachungsdaten versorgen.

Versorgungsschiff

Oberflächenfahrzeug bzw. Schwimmkörper zur Unterstützung und Versorgung von autonomen und nichtautonomen Unterwasserfahrzeugen. In dieser Vorschrift kann das Versorgungsschiff auch eine ortsfeste Versorgungsstation (z.B. an der Küste oder auf einer ortsfesten Offshore-Anlage) sein.

2. Hauptabmessungen und Hauptparameter

Alle Abmessungen beziehen sich auf fest eingebaute Ausrüstungsteile in eingefahrenem/eingeklappten Zustand.

2.1 Achsensystem

Es wird ein bezüglich des Unterwasserfahrzeugs festes, rechtshändiges Achsensystem x, y, z entsprechend Abb. 2.1 definiert. Der Ursprung des Systems ist durch das hintere Lot, die Mittellinie und die Basislinie des Unterwasserfahrzeugs bestimmt. Die x-Achse zeigt in Längsrichtung des Fahrzeugs in positiver Richtung nach vorne, die y-Achse positiv nach Backbord und die z-Achse positiv aufwärts. Winkelbewegungen werden als positiv betrachtet, wenn sie im Uhrzeigersinn um die drei Achsen erfolgen.

2.2 Hinteres Lot AP

Das hintere Lot **AP** ist die Senkrechte zur x-Achse durch den Schnittpunkt Hinterkante Stevennuss mit Mitte Propellerwelle bei Fahrzeugen mit einer zentralen Welle, bei Fahrzeugen mit mehreren Wellen und bei speziellen Propulsionsanordnungen nach Festlegung im Einzelfall.

2.3 Vorderes Lot FP

Das vordere Lot **FP** ist die Senkrechte zur x-Achse durch den Schnittpunkt mit Vorkante Vorsteven, bei speziellen Anordnungen nach Festlegung im Einzelfall.

2.4 Länge zwischen den Loten LPP

Die Länge **LPP** ist der Abstand zwischen **AP** und **FP** parallel zur x-Achse gemessen [m].

2.5 Länge über alles LOA

Die Länge **LOA** ist der Abstand zwischen dem vordersten und hintersten Punkt des Unterwasserfahrzeugs einschließlich fest eingebauter Ausrüstungskomponenten, parallel zur x-Achse gemessen [m].

2.6 Gesamtbreite B

Die Gesamtbreite **B** ist die größte Breite des Unterwasserfahrzeugs einschließlich aller fest eingebauten Ausrüstungsteile, parallel zur y-Achse gemessen [m].

2.7 Radius R_m des Druckkörpers

Der Radius $\mathbf{R_m}$ des Druckkörpers ist der Radius des Zylinders oder der Kugel, auf die Mitte der Wanddicke bezogen [m].

2.8 Gesamthöhe H

Die Gesamthöhe **H** ist die gesamte Höhe von der Basislinie bis Oberkante des Fahrzeugs einschließlich aller fest eingebauten Ausrüstungsteile, parallel zur z-Achse gemessen [m].

2.9 Tiefgang T

Der Tiefgang **T** in aufgetauchtem Zustand ist der maximale vertikale Abstand zwischen der Basislinie und der Wasseroberfläche [m].

2.10 Verdrängung

Die Verdrängung des aufgetauchten und für die Überwasserfahrt betriebsbereiten Unterwasserfahrzeugs ist $\Delta\uparrow$, die Verdrängung des vollständig getauchten Fahrzeugs ist $\Delta\downarrow$ [t].

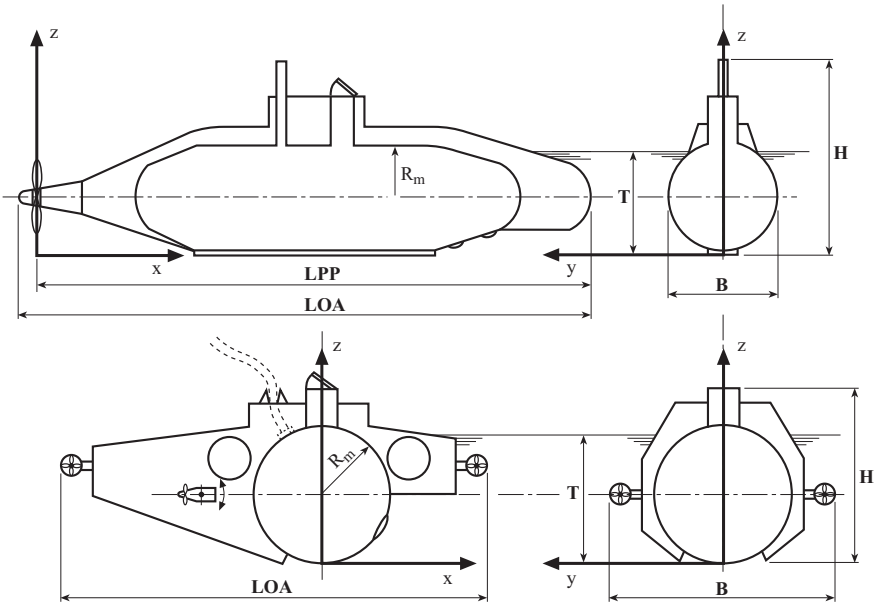


Abb. 2.1 Festes Achsensystem und Hauptabmessungen

2.11 Nutzlast NL

Die maximale Zusatzlast **NL** für Geräte, Ausrüstungen, Materialien, die für den eigentlichen Betrieb des Unterwasserfahrzeugs nicht erforderlich sind, sondern auszuführenden Arbeiten, Untersuchungen des Meeres und wissenschaftlichen Forschungen dienen [kg]. Hierzu zählen auch die Passagiere gemäß Tabelle 3.1 Die Besatzung zählt nicht zur Nutzlast.

2.12 Tauchtiefen

Alle Tauchtiefen beziehen sich auf die Unterkante des Druckkörpers.

2.12.1 Nenntauchtiefe NDD

Die Nenntauchtiefe **NDD** (Nominal Diving Depth) ist die Tauchtiefe für den unbeschränkten Betrieb des Unterwasserfahrzeugs [m].

2.12.2 Prüftauchtiefe TDD

Die Prüftauchtiefe **TDD** (Test Diving Depth) ist die Tauchtiefe die einem äußeren Überdruck entspricht, dem das Unterwasserfahrzeug nach der Fertigstellung oder nach wesentlichen Reparaturen unter Prüfbedingungen ausgesetzt wird [m].

2.12.3 Zerstörungstauchtiefe CDD

Die Zerstörungstauchtiefe **CDD** (Collapse Diving Depth) ist die für die Auslegung des Druckkörpers maßgebliche Tauchtiefe des Unterwasserfahrzeugs, bei der mit einem Versagen des Druckkörpers zu rechnen ist [m].

2.13 Geschwindigkeiten

2.13.1 Geschwindigkeit $v_0\uparrow$

Die Geschwindigkeit $\mathbf{v_0\uparrow}$ ist die maximale Betriebsgeschwindigkeit des aufgetauchten Unterwasserfahrzeugs [kn] bei einer Propellerdrehzahl entsprechend der maximalen Überwasser-Dauerantriebsleistung (MCR[1]).

2.13.2 Geschwindigkeit $v_0\downarrow$

Die Geschwindigkeit $\mathbf{v_0\downarrow}$ ist die maximale Betriebsgeschwindigkeit des getauchten Unterwasserfahrzeugs [kn] bei einer Propellerdrehzahl entsprechend der maximalen Unterwasser-Dauerleistung (MCR [1]).

D. Umgebungsbedingungen

1. Allgemeines

Für die Auslegung, Auswahl und Anordnung der bei Unterwasserfahrzeugen eingesetzten Maschinen, Geräte und Einrichtungen sind mindestens die nachfolgend aufgeführten Umgebungsbedingungen zugrunde zu legen. Für Unterwasserfahrzeuge, die nur in bestimmten Gebieten eingesetzt werden, können abweichende Umgebungsbedingungen zugelassen werden.

Bei besonderen Einsätzen, wie Tauchen unter Eis oder in Höhlen sind die dortigen Umgebungsbedingungen zu berücksichtigen und die besonderen Maßnahmen mit dem GL abzustimmen.

2. Schräglagen

Soweit nicht anderweitig spezifiziert, soll eine störungsfreie Funktion bis zu Neigungen von 22,5° (statisch und dynamisch) in jeder Richtung bezogen auf die Einbaulage gewährleistet sein. Bei vorübergehenden Neigungen bis 45° dürfen keine ungewoll-

1 MCR = Maximum continuous rating = maximale Dauerleistung

ten Funktionszustände eintreten und keine Schäden, insbesondere der Lagerung von Maschinen, hervorgerufen werden. Bei größeren betrieblichen Schräglagen sind diese bei Auslegung und Prüfung entsprechend zu berücksichtigen.

3. Wasser

Für die Auslegung von Unterwasserfahrzeugen und -komponenten sind sowohl der Temperaturbereich des Wassers als auch der Bereich des Salzgehalts und damit der Dichte festzulegen. Falls nicht anders vereinbart**,** kann Seewasser mit einem Temperaturbereich von - 2 °C bis + 32 °C, einem Salzgehalt von 3,5 % und einer Dichte von 1028 kg/m^3 zugrunde gelegt werden. Zur Umrechnung der Tauchtiefe auf Druck gilt dann 0,101 bar/m.

4. Seegang

Die Seegangsbedingungen, bis zu welchen das Unterwasserfahrzeug aufgetaucht eingesetzt werden darf, sind mit dem GL abzustimmen. Falls nicht anders vereinbart, sind Unterwasserfahrzeuge für Seegangsbedingungen mit einer signifikanten Wellenhöhe von mindestens 2 m auszulegen. Dabei sind als Beschleunigungswerte in vertikaler Richtung 2 g nach unten und 1 g nach oben, in Längs- und Querrichtung je 1 g (g = 9,81 m/s^2) zu berücksichtigen.

5. Tide und Strömungen

Für die Auslegung der Vortriebs- und Manövriereinrichtungen sind je nach Fahrtgebiet die einzelnen strömungsbeeinflussenden Faktoren und deren mögliche Kombinationen zu berücksichtigen.

Als Grundlage für die Auslegung ist die maximale, sowie die minimale Tide des entsprechenden Einsatzgebietes heranzuziehen. Außerdem sind Windströmungen oder geographische Besonderheiten (z.B. Meerengen) zu berücksichtigen.

6. Klima

In allen Räumen ist mit öl- und salzhaltiger Luft in einem Temperaturbereich von 0 bis +55 °C zu rechnen. Die Luftfeuchte kann im unteren Temperaturbereich 100 % betragen. Mit Betauung ist zu rechnen. In besonders geschützten Kontrollräumen kann mit einer relativen Luftfeuchte von 80 % bei einer Bezugstemperatur von +45 °C gerechnet werden.

Die Anlagen und Geräte müssen bei Luftdruckschwankungen im Innern des Druckkörpers im Bereich von 0,7 bis 1,3 bar einwandfrei arbeiten.

7. Schwingungen und Erschütterungen

Durch Maschinen dürfen keine Schwingungen und Erschütterungen hervorgerufen werden, die andere Maschinen, Einrichtungen oder den Körper des Unterwasserfahrzeugs unzulässig beanspruchen. Die in den GL-Vorschriften, Maschinenanlagen (I-1-2), Abschnitt 1, C. aufgeführten Amplituden und Beschleunigungen sind zu beachten.

8. Explosionsschutz

Unterwasserfahrzeuge, die in bzw. von explosionsgefährdeten Bereichen aus eingesetzt werden (z.B. von Öl- oder Gasförderplattformen), müssen für die entsprechenden explosionsgefährdeten Bereiche ausgelegt werden. Dies gilt auch für die Fahrstände.

9. Sonstige Umgebungsbedingungen

Bei der Konstruktion des Unterwasserfahrzeuges sind auch die Umgebungsbedingungen zu berücksichtigten, die bei einem eventuellen Lufttransport auftreten können (z.B. Unterdruck/Temperatur).

E. Genehmigungsunterlagen

1. Allgemeines

1.1 Vor Beginn der Fertigung sind die Dokumentation des Gesamtsystems und Zeichnungen aller prüfpflichtigen Bauteile und Systeme, soweit zutreffend, in dem im Folgenden angegebenen Umfang in je dreifacher bzw. bei elektronischer Übermittlung in einfacher Ausfertigung einzureichen.

1.2 Die Dokumentation muss alle zur Prüfung der Konstruktion und ihrer Beanspruchung notwendigen Angaben enthalten. Soweit erforderlich, sind Berechnungen für Bauteile und Beschreibungen der Anlage einzureichen.

1.3 Nach Genehmigung der vorgelegten Unterlagen durch den GL sind diese für die Ausführung verbindlich. Etwaige nachträgliche Änderungen bedürfen vor Ausführung der Zustimmung des GL.

2. Gesamtsystem

Es sind folgende Unterlagen einzureichen:

2.1 Beschreibung des Unterwasserfahrzeugs mit Angaben über die Betriebsart, den vorgesehenen Einsatzzweck und die maßgebenden Auslegungsdaten wie z.B.:

- Nenntauchtiefe
- maximale Einsatzzeit und maximale Überlebenszeit
- maximaler Einsatzbereich (Radius)
- maximale Anzahl der Personen im Druckkörper
- Taucherkammer
- Tauchverfahren
- Einsatzgrenzen in Bezug auf das Aussetzen und Bergen (Seegang)
- andere Einsatzgrenzen in Bezug auf Umgebungsbedingungen (z.B. Einsatztemperaturen, See-/ Süßwasser oder geographische oder strömungstechnische Besonderheiten)
- Geschwindigkeiten über und unter Wasser, sowie maximale Schleppgeschwindigkeit

- Art des Antriebes und der Manövriereinrichtungen
- Art und Umfang von Arbeitsgeräten und Ausrüstung
- Art der Festhalteeinrichtungen
- Gewicht des Fahrzeugs, Nutzlast und Ballast, Wasserverdrängung (getaucht)

2.2 Generalplan, sowie Pläne über die Anordnungs- und Konstruktionseinzelheiten des Unterwasserfahrzeugs einschließlich Material-, Herstellungs- und Prüfspezifikationen.

2.3 Pläne (Blockschaltbilder) des Gesamtsystems.

2.4 Fehler- Möglichkeits- und Einfluss-Analyse (FMEA), falls erforderlich.

2.5 Zusammenfassende Darstellung der Korrosionsschutzmaßnahmen.

2.6 Stabilitätsunterlagen

Für jedes Unterwasserfahrzeug ist ein Stabilitätsnachweis zu liefern, der folgendes enthält:

- Resultate der Stabilitätsuntersuchungen für intaktes und beschädigtes Unterwasserfahrzeug, sowohl im getauchten als auch aufgetauchten Zustand, und gegebenenfalls auch in Zwischenzuständen
- zulässige Eislast
- Darstellung des Stabilitätsverhaltens des Unterwasserfahrzeugs
- Maßnahmen zur Aufrechterhaltung genügender Stabilität

2.7 Bedienungsanleitung und Wartungshandbuch

Die Bedienungsanleitung soll im Detail sowohl die für den Normalbetrieb als auch für den Notbetrieb erforderlichen Bedienungsschritte in klarer und übersichtlicher Form und ihrer erforderlichen Abfolge (z.B. als Checkliste) enthalten. Außerdem sind die Maßnahmen zur Aufladung der Betriebssysteme (z.B. Batterien, Gase) - oft mit externen Einrichtungen - anzugeben. Weiterhin sind die vorgesehene Lebensdauer, sowie die zulässigen Last- und Einsatzzyklen von Ausrüstungsteilen (z.B. Acrylfenster, Batterien) anzugeben.

Das Wartungshandbuch soll alle Vorgänge sowohl der vorbeugenden Wartung als auch der periodischen Inspektionen enthalten.

2.8 Betriebsaufzeichnungen

Alle für den Einsatz relevanten Bedingungen (Tauchtiefe, Einsatzzeit, Beschädigungen usw.) sind hierin aufzuzeichnen.

2.9 Erprobungsprogramm

3. Druckkörper

3.1 Es sind Zeichnungen und Berechnungen des Druckkörpers mit allen maßgeblichen und für die sicherheitstechnische Beurteilung erforderlichen Angaben einzureichen, einschließlich der Material-, Herstellungs- und Prüfspezifikationen. In den Zeichnungen sind alle vorgesehenen Druckkörperein- und -anbauten darzustellen (z.B. Verstärkungsrippen, Maschinenfundamente, Halterungen usw.).

3.2 Ferner sind Einzelteilzeichnungen der Druckkörperstruktur einzureichen, wie z.B.:

- Ein- und Ausstiegsluken
- Fenster, Fensterflansche und Gegenflansche
- druckfeste Schotte einschließlich Türen
- Blockflanschen
- Druckkörperwanddurchführungen, einschließlich deren Anordnung
- Taucherausstieg, falls vorhanden

3.3 Es sind Pläne und Beschreibungen der Raumaufteilung und Inneneinrichtungen einzureichen.

4. Außenstruktur

Es sind Pläne und Schnittzeichnungen des Hüllkörpers und der Tragestruktur einzureichen, mit Angaben über Druckkörperanbauten wie Tauchzellen, Gasbehälter, Auftriebskörper, Stabilisierungsflossen, Ruder, Slipvorrichtung, Umbilicalanschluss, Kielkufen, Rammschutz, Stromlinienverkleidungen, Manipulatoren, Instrumentengestelle, Ankereinrichtungen, Masten und Luftrohre usw.

5. Tauch-, Regel- und Trimmsysteme sowie Ballastsysteme

5.1 Einreichung der Unterlagen über Anordnung der Tauch-, Regel- und Trimmzellen und der Ballastsysteme mit rechnerischem Nachweis der statischen Tauchfähigkeit.

5.2 Für die Steuerung bzw. Regelung sind einzureichen:

- Beschreibung der Steueranlagen für Tiefe, Auf- und Abtrieb und Trimm sowie der Sicherheitseinrichtungen gegen Überschreitung der Nenntauchtiefe **NDD**, einschließlich der hierfür erforderlichen Rohrleitungspläne und Einzelteilzeichnungen. Hierzu gehören auch Pläne über:
  - Druckluftanlage zum Anblasen der Tauchzellen
  - Ballastsysteme
  - feste Auftriebskörper einschließlich deren Befestigungen
  - abwerfbare Gewichte und Geräte einschließlich der Auslöseeinrichtungen

6. Behälter und Apparate unter Druck

Es sind Zeichnungen und Berechnungen der Behälter und Apparate unter äußerem und inneren Druck mit allen maßgebenden und für die sicherheitstechnische Beurteilung erforderlichen Angaben einzureichen, einschließlich der Werkstoff-, Herstellungs- und Prüfspezifikationen.

7. Rohrleitungssysteme, Umbilicals, Pumpen und Verdichter

Es sind einzureichen:

7.1 Schematische Pläne aller Rohrleitungssysteme einschließlich Angaben über:

- Werkstoffe
- zulässiger Betriebsüberdruck
- zulässige Betriebstemperatur
- Abmessungen (Nennweite, Wanddicke)
- Betriebsmedien
- Art der Armaturen und Verbindungen sowie deren Betriebsparameter
- Art der Schlauchleitungen

7.2 Beschreibung der Pumpen und Verdichter sowie deren Antriebe mit Angabe der wesentlichen Auslegungs- und Betriebsdaten.

7.3 Beschreibung des Aufbaus des Umbilicals und seiner Einzelelemente entsprechend Anhang E, C., falls vorhanden.

7.4 Auflistung der flüssigkeitsgefüllten Komponenten mit Angabe der Art der Flüssigkeit (z.B. Öl, Wasser usw.)

8. Antriebs- und Manövriereinrichtungen

Es sind Pläne und Beschreibungen der Antriebs- und Manövrieranlagen einschließlich Getriebe, Kupplungen, Wellenleitungen, Propellern und Rudern einzureichen, mit Angaben über:

- Betriebsart und Steuerung der Anlagen
- Energiebedarf (Art und Menge)
- Art der Kraftübertragung auf den Antrieb
- Abdichtung der Druckkörperdurchdringungen
- Weg-, Zeitverhalten der Ruder

9. Positioniereinrichtungen

Die Art und Steuerung der Positioniereinrichtung ist darzulegen.

10. Arbeitsgeräte

(vergleiche auch Kapitel 3, Abschnitt 5, G.)

10.1 Für die Anbauteile und Arbeitsgeräte sind die Auswirkungen auf das Gesamtsystem anzugeben.

10.2 Pläne und Beschreibungen der vorgesehenen Arbeitsgeräte sind einzureichen mit Angaben über:

- Aufgabenstellung der Geräte
- Betriebsart und Energieversorgung
- Steuerung und Überwachung
- Sicherheitseinrichtungen
- Anordnung und Befestigung an der Tragestruktur
- verwendete Werkstoffe
- wenn vorhanden, Art der Abwurfeinrichtung

10.3 Es sind Pläne und Beschreibungen der Festhalteeinrichtungen einzureichen mit Angaben über:

- Art und Steuerung der Festhalteeinrichtung
- Größe der Haltekraft
- Verhalten bei Energieausfall
- Art der Abwurfeinrichtung

11. Elektrische Einrichtungen

Es sind einzureichen:

11.1 Übersichtsplan der elektrischen Einrichtungen mit mindestens folgenden Angaben:

- Nennspannung der Systeme
- Nennleistungen bzw. Nennströme der elektrischen Verbraucher
- Schalt- und Sicherheitseinrichtungen (z.B. Überlastschutz) mit Einstellwerten für Überstrom- und Überlastschutz, Sicherungen mit Angabe ihrer Nennstromstärke
- Kabeltypen und Querschnitte

11.2 Energiebilanz für Haupt- und Notstromversorgung.

11.3 Pläne der Schaltanlagen und Verteilungen mit Stücklisten.

11.4 Vollständige Unterlagen über elektromotorische Antriebe, mit Angaben über Steuerung, Messung und Überwachung.

11.5 Aufstellungsplan der Batterien mit Angaben der Batterietypen, Ladeeinrichtungen und Lüftung der Aufstellungsräume.

11.6 Angaben über die elektrischen Durchführungen durch Druckkörperwandungen.

11.7 Belegungsplan der elektrischen Druckkörperwanddurchführungen.

11.8 Pläne über die Anordnung der Notbeleuchtung.

11.9 Kurzschlussberechnung mit Angaben über die in der Haupt-, Not- und den Verteilungsschalttafeln verwendeten Leistungsschaltern, Leitungsschutzschalter und Sicherungen mit Angabe des Nennstromes und des Schaltvermögens.

11.10 Vom Errichter elektrischer Anlagen ist eine Bestätigung über die explosionsgeschützte Ausfüh-

rung der elektrischen Anlagen in den gefährdeten Bereichen auf Formblatt F 184 einzureichen.

Das Formblatt kann vom GL bezogen werden. Die gefährdeten Bereiche sind anzugeben.

11.11 Für den Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen sind die erforderlichen Explosionsschutzklassen nachzuweisen.

12. Automations-, Kommunikations-, Navigations- und Ortungseinrichtungen

Es sind einzureichen:

12.1 Beschreibung der Gesamtanordnung der Instrumentierung des Fahrstandes.

12.2 Beschreibung der Steuerungs- und Bedienelemente für das Unterwasserfahrzeug und seine Einrichtungen.

12.3 Beschreibung der nautischen und tauchtechnischen Instrumentierung, einschließlich der Fahrt- und Positionsanzeigen.

12.4 Beschreibung der Sicherheits- und Alarmsysteme.

12.5 Übersichtspläne/Blockschaltbilder der Überwachungseinrichtungen einschließlich Messstellenlisten.

12.6 Unterlagen elektronischer Komponenten wie Messverstärker, Rechner und peripherer Geräte.

12.7 Übersichtspläne und Gerätelisten über die Datenübertragungseinrichtungen und Signaleinrichtungen.

12.8 Übersichtsplan und Beschreibung der Video-Anlage.

12.9 Beschreibungen, Übersichtspläne und Gerätelisten der Ortungseinrichtungen.

13. Lebenserhaltungssysteme

Es sind einzureichen:

13.1 Rohrpläne, Blockschaltbilder und Beschreibungen der Systeme und Einrichtungen zur Atemgasversorgung, Umwälzung, Reinigung und Klimatisierung der Druckkörperatmosphäre, einschließlich Einrichtungen zu deren Überwachung, für den Normal- und Notbetrieb.

13.2 Rechnerischer Nachweis der Kapazität der Atemgasversorgung und Lufterneuerung für den Normal- und Notbetrieb.

13.3 Beschreibung der Einrichtungen zur Wasser-, Nahrungsmittel- und Medikamentenversorgung sowie zur Abfallbeseitigung.

13.4 Für nicht-autonome Unterwasserfahrzeuge sind Pläne und Beschreibungen des Umbilicals vorzulegen.

14. Brandschutz- und Feuerlöscheinrichtungen

Es sind einzureichen:

14.1 Beschreibung der vorbeugenden Brandschutzmaßnahmen.

14.2 Brandschutzpläne.

14.3 Angaben über Art und Menge brennbarer Stoffe im Unterwasserfahrzeug.

14.4 Pläne und Beschreibungen über:

- Feuermeldeeinrichtungen
- Feuerlöscheinrichtungen
- Feueralarmeinrichtungen

14.5 Gefahrenanalyse möglicher Brandfälle.

14.6 Werden Unterwasserfahrzeuge in explosionsgefährdeten Bereichen eingesetzt, ist eine Beschreibung der Explosionsschutzmaßnahmen vorzulegen.

15. Rettungssysteme

Es sind Pläne und Beschreibungen von Systemen und Einrichtungen zur Rettung der Fahrzeugbesatzung, Passagiere und Taucher einzureichen.

16. Andockeinrichtungen

16.1 Systembeschreibung mit Angaben der Einsatzbedingungen.

16.2 Angaben über Anschlussbedingungen.

16.3 Konstruktionszeichnungen der Andockeinrichtung.

16.4 Steuerungsschema und Beschreibung der Sicherheitseinrichtungen.

F. Fehler-Möglichkeits- und Einfluss-Analyse (FMEA)

1. Allgemeines

1.1 Die Fehler-Möglichkeits- und Einfluss-Analyse (FMEA) hat den Zweck, mögliche Fehler im Gesamtsystem, in Teilsystemen und Komponenten von bemannten Unterwasserfahrzeugen zu identifizieren und die Effekte auf die Gesamtanlage und deren Teilsysteme bzw. Komponenten zu beschreiben.

1.2 Für bemannte Unterwasserfahrzeuge ist auf Anforderung durch den GL eine Analyse hinsichtlich der Funktion und Verfügbarkeit des Unterwasserfahrzeugs nach Auftreten eines einzelnen Fehlers einzureichen.

1.3 Die FMEA soll frühzeitig und konstruktionsbegleitend erfolgen, um rechtzeitig Systemmodifikationen realisieren zu können. Es ist eine tabellarische Form, z.B. entsprechend IEC 60812 zu benutzen.

2. Beschreibung der für die Analyse relevanten Teilsysteme

2.1 Die FMEA soll ein eigenständiges Dokument darstellen und ohne Hinzuziehen weiterer Unterlagen verständlich sein. Das bedeutet, dass alle relevanten Teilsysteme bezüglich des Aufbaus der grundlegenden Funktionen, der installierten Redundanzen und insbesondere der Schnittstellen der Teilsysteme zueinander zu beschreiben sind.

2.2 Die Beschreibung soll der Besatzung eine gute Übersicht der Fahrzeugstruktur und der Funktionen der relevanten Teilsysteme bieten. Für alle Teilsysteme sollen typische Möglichkeiten für Fehler und deren Einfluss auf die Gesamtfunktion des Unterwasserfahrzeugs aufgezeigt werden. Weiter sind die Gegenmaßnahmen zur Behebung dieser Fehler und ihrer Auswirkungen aufzuzeigen.

2.3 Für bemannte Unterwasserfahrzeuge sind die folgenden Teilsysteme zur Aufrechterhaltung der Gesamtfunktion relevant:

- Druckkörperdurchführungen einschließlich Ausrüstung
- Inneneinrichtung
- Außenstruktur und zugehörige Ausrüstung
- Einrichtungen zum Tauchen/Ballastieren, Regeln/Kompensieren und Trimmen
- Behälter und Apparate unter Druck
- Rohrleitungssysteme, Pumpen und Verdichter
- Umbilicals, bei nicht-autonomen Unterwasserfahrzeugen
- Antriebs- und Manövriereinrichtungen
- Erzeugung und Verteilung von elektrischer Energie
- Notenergieversorgung
- elektrische Schutzsysteme
- Automations-, Kommunikations-, Navigations- und Ortungseinrichtungen
- Lebenserhaltungssysteme
- Brandschutz
- Rettungssysteme
- Zusatzeinrichtungen für den Touristik-Einsatz, soweit zutreffend
- Steuerungseinrichtungen an Bord des Versorgungsschiffes
- Versorgungseinrichtungen an Bord des Versorgungsschiffes
- Aussetz- und Bergeeinrichtung
- Auf- und Abrolleinrichtung für Umbilicals
- Stauung und Decktransport
- Andockeinrichtung

Die Systembeschreibungen sind durch Blockschaltbilder entsprechend 3. zu ergänzen.

3. Blockschaltbilder für die relevanten Teilsysteme

Für jedes relevante Teilsystem ist ein Blockdiagramm zu erstellen. Dieses Blockdiagramm soll alle für die Fehleranalyse wesentlichen Informationen über das System enthalten, welche normalerweise sind:

- Definition der Teilsysteme
- alle wesentlichen Komponenten eines Teilsystems
- Schnittstellen zwischen den Komponenten eines Teilsystems
- Schnittstellen von und zu anderen Teilsystemen (typisch für Hydraulikantriebe, Druckluftsysteme und Steuerungen usw.)
- Einrichtungen zur Steuerung des Gesamtsystems
- Zulieferungen von außerhalb des Gesamtsystems, soweit zutreffend
- weitere Aspekte in Abhängigkeit von der aktuellen Ausführung der Gesamtanlage

An Schnittstellen können die unterschiedlichen Formen von Leitungen, Medien und Daten übertragen werden.

4. Analyse der einzelnen relevanten Teilsysteme

Jedes relevante Teilsystem ist bezüglich der folgenden wesentlichen Aspekte zu analysieren, wobei sich weitere Aspekte während der Durchführung der Analyse ergeben können, vgl. Arbeitsblatt in 5.:

- Ausfall von Teilsystemen
- Fehlfunktionen von Teilsystemen
- Ausfall von Komponenten im Teilsystem
- Fehlfunktionen von Komponenten
- Schnittstellenfehler zwischen den Teilsystemen, einem Teilsystem und seinem Komponenten sowie zwischen Komponenten untereinander.

  Schnittstellenanalyse, wie Daten, Medien und Leistungen übergeben werden und wie Fehler über die Schnittstellen in andere Teilsysteme/Komponenten weiterverbreitet werden.
- versteckte Fehler

  Überprüfung auf versteckte Fehler und Sinnfälligkeit von vorzusehenden Alarmen

  Einbau von periodischen Überprüfungen, wenn Alarme nicht praktikabel sind
- Fehler durch äußere Einflüsse, welche auch zum gleichzeitigen Versagen von redundanten Teilsystemen führen können, z.B. veränderte Umweltbedingungen und deren Kontrolle, Spannungs- und Stromschwankungen in der Energiezufuhr, Kontaminierung von Versorgungsmedien usw.
- Fehlbedienung von Teilsystemen oder Komponenten, nur bei gewisser Wahrscheinlichkeit

Tabelle 2.1 Beispiel für ein tabellarisches Arbeitsblatt

ID Nummer	Teilsystem / Komponente	Fehlerart	Fehlerursache	Fehler-entdeckung	Folgen für Teilsystem / Komponente	Folgen für Gesamt-system	Fehler-korrektur	Bermerkungen
1								
2								
3								

5. Tabellarisches Arbeitsblatt

Die Analyse ist in tabellarischer Form durchzuführen, mit einem Arbeitsblatt entsprechend dem angeführten Beispiel oder z.B. gemäß der Norm IEC 60812.

Die Analyse hat alle Betriebsarten zu berücksichtigen.

6. Voraussetzungen und definierte Grenzen für die Analyse

Während der Analyse sind die Voraussetzungen zu definieren, die das Analyseresultat beeinflussen. Typische Voraussetzungen sind z.B.:

- die Besatzung ist qualifiziert und ausgebildet, um das bemannte Unterwasserfahrzeug sicher zu fahren
- die Versorgung mit Energie und soweit erforderliche, mit anderen Betriebsstoffen von außerhalb des bemannten Unterwasserfahrzeugs ist redundant gesichert (bei nicht-autonomen Unterwasserfahrzeugen)
- die in der Bedienungsanleitung vorgeschriebenen Einstellungen und Schaltungen werden von der Besatzung eingehalten usw.

7. Behandlung von Änderungen

Bei Änderungen am Unterwasserfahrzeug bzw. an unterstützenden Einrichtungen am Versorgungsschiff ist die FMEA entsprechend anzupassen.

8. Schlussfolgerungen

Die FMEA soll eine Zusammenfassung der Resultate der Untersuchungen für das relevante Unterwasserfahrzeug enthalten. Darüberhinaus sollte sie eine Liste der hauptsächlichen Fehler, die für den Betrieb des Fahrzeugs und insbesondere für die Erhaltung der Manövrierfähigkeit und Auftauchfähigkeit sowie der gewünschten Atmosphäre im Druckkörper auftreten können, enthalten. Für die Besatzung und das Bedienungspersonal an Bord des Versorgungsschiffes sind Schulungsmaßnahmen zur einwandfreien Handhabung des Fahrzeugs und der unterstützenden Einrichtungen bei Auftreten dieser Fehler vorzuschlagen.

Eine regelmäßige Überprüfung der FMEA einschließlich praktischer Erprobung wird empfohlen.

9. FMEA-Prüfprogramm

9.1 Entsprechend der FMEA ist ein Prüfprogramm zu erstellen. Der Zweck dieses Programms ist es, die Voraussetzungen und das erwartete Betriebsverhalten des Unterwasserfahrzeugs, wie es in der Analyse definiert wurde, zu überprüfen.

9.2 Das Programm soll typische Fehler in den relevanten Systemen und Komponenten einschließlich derer für den schlechtest denkbaren Fall berücksichtigen. Alle möglichen Betriebszustände des Unterwasserfahrzeugs sind einzubeziehen.

9.3 Das Prüfprogramm ist mir dem GL abzustimmen und hat im Detail zu definieren wie die Prüfung erfolgen soll bzw. wie simuliert wird.

G. Prüfungen und Erprobungen

1. Allgemeines

1.1 Bemannte Unterwasserfahrzeuge unterliegen der Bau- und Abnahmeprüfung im Herstellerwerk. Es sind dabei mindestens die Übereinstimmung mit den Genehmigungsunterlagen, die Arbeitsausführung, die Materialnachweise sowie die Einhaltung der Maßtoleranzen zu überprüfen. Soweit zutreffend sind alle nachfolgend vorgeschriebenen Prüfungen durchzuführen und zu dokumentieren. Über die Anwesenheit von GL-Besichtigern bei diesen Prüfungen und Erprobungen entscheidet der GL im Einzelfall.

Die Prüfungen und Erprobungen der unterstützenden Einrichtungen auf dem Versorgungsschiff in Verbindung mit dem Unterwasserfahrzeug sind in Abschnitt 17 definiert.

1.2 Für Teile aus der Serienfertigung können anstelle der vorgeschriebenen Prüfungen andere Prüfverfahren mit dem GL vereinbart werden, wenn sie vom GL als gleichwertig anerkannt sind.

1.3 Der GL behält sich vor, den Prüfumfang erforderlichenfalls zu erweitern und auch solche Teile einer Prüfung zu unterziehen, für die eine Prüfung nach den Vorschriften nicht ausdrücklich gefordert ist.

1.4 Prüfpflichtige Teile sind durch geprüfte Teile zu ersetzen. Das gleiche gilt für Reserveteile.

1.5 Bei Unterwasserfahrzeugen mit Taucherausstieg sind für die betreffenden Komponenten und Einrichtungen auch die Prüfungen gemäß Tauchanlagen und Tauchsimulatoren (I-5-1) durchzuführen.

1.6 Eine Zusammenstellung der Prüfdrücke, sowie auch der Berechnungs- und Auslegungsdrücke ist in Abschnitt 4, Tabelle 4.2 enthalten.

2. Gesamtsystem

Nach Fertigstellung ist das Unterwasserfahrzeug einer Bau-, Funktions- und Abnahmeprüfung nach dem vom GL genehmigten Erprobungsprogramm zu unterziehen. Dabei sind mindestens folgende Einzelprüfungen durchzuführen:

- Überprüfung des Zusammenbaus (soweit nicht schon während der Bauprüfung erfolgt)
- Messung von Gewicht und Auftrieb sowie Überprüfung der Stabilität im Normal- und Notbetrieb
- Überprüfung der Inneneinrichtung, Trennschotte mit Türen, Flurböden und Leitern
- Erprobung aller Sicherheitseinrichtungen
- Funktionsprüfung der Tauch- und Trimmeinrichtungen
- Funktionstest der mechanischen, elektrischen und optischen Ausrüstung
- Funktionsprüfung der Arbeitsgeräte im Hinblick auf Beeinflussung des Unterwasserfahrzeugs
- statischer Tauchversuch unter kontrollierten Bedingungen
- Krängungsversuch unter und über Wasser
- Trimmversuch unter und über Wasser
- Erprobung der Notabwurfeinrichtungen
- Erprobungsfahrt über Wasser mit Kontrolle des Schwimmzustandes
- Erprobungsfahrt unter Wasser
- Erprobung der Andockeinrichtung
- Funktionstest der Lebenserhaltungssysteme
- Überprüfung der Anzeigegenauigkeit aller betriebswichtigen Messinstrumente
- Hochspannungstest und Isolationsprüfung der elektrischen Einrichtungen

Die Erprobungen des Gesamtsystems unter Wasser erfolgen mit Tauchtiefen bis zur Nenntauchtiefe **NDD**, siehe Abschnitt 4, B.

3. Druckkörper

3.1 Druckkörper sind nach Abschluss der mechanischen Bearbeitung und gegebenenfalls erforderlichen Wärmebehandlung einer äußeren Wasserdruckprüfung zu unterziehen. Diese Prüfung kann am Rohkörper oder am fertigen Unterwasserfahrzeug in einer Druckkammer oder durch einen Absenktest erfolgen. Der Prüftauchdruck ist nach Tabelle 4.1 in Abschnitt 4 festzulegen.

Druckkörperabteilungen (Zellen), die unter inneren Überdruck gelangen können, sind einer hydraulischen Innendruckprüfung mit dem 1,5-fachen des zulässigen Betriebsüberdruckes zu unterziehen.

Nach den Druckprüfungen ist der Druckkörper auf Undichtigkeiten, bleibende Verformungen und Anrisse zu überprüfen.

3.2 Druckkörperdurchführungen und -verschlüsse werden einem Dichtheitstest durch Unterdruckprobe von mindestens 0,2 bar unter Atmosphärendruck unterzogen.

Druckkörperdurchführung und Lukendeckel sind zusätzlich mit einem Innendruck von 1,3 bar absolut zu prüfen.

3.3 Alle Druckkörperfenster sind einer hydraulischen Druckprüfung zu unterziehen. Die Prüfung kann nach Einbau gemeinsam mit dem Druckkörper oder einzeln in einer Prüfvorrichtung erfolgen. Der Prüfdruck ist gemäß 3.1 festzulegen. Bei der Druckprüfung ist darauf zu achten, dass der Prüfdruck nicht höher als der 1,5-fache Berechnungsdruck des Fensters ist.

Nach der Druckprüfung dürfen die Fenster keine Kratzer, Risse oder bleibenden Verformungen aufweisen.

3.4 Im Rahmen der Druckprüfung des Unterwasserfahrzeugs ist die Dichtheit der druckdichten Lukendeckel mit dem Prüftauchdruck **TDP** nachzuweisen.

3.5 Türen in druckfesten Schotten sind, sofern nicht anders möglich, im Herstellerwerk mit Prüftauchdruck **TDP** zu prüfen. Im eingebauten Zustand ist eine Dichtheitsprüfung mit 0,2 bar Unterdruck durchzuführen.

3.6 Für druckfeste Schotte ist eine Dichtheitsprüfung mit 0,2 bar Unterdruck durchzuführen.

4. Außenstruktur

4.1 Die Anordnung, Verlegung und Befestigung von Ausrüstungsgegenständen wie Treppen, Grätinge, Geländer, Poller, Masten, Positionslaternen, Schleppvorrichtung und Tiefgangsmarkierungen ist zu überprüfen.

4.2 Die Komponenten der Außenstruktur wie z.B. Anker, Ruder, u.ä. sind einer Funktionserprobung zu unterziehen.

4.3 Statische Prüfung der Anschlagpunkte an dem Unterwasserfahrzeug mit der 2,2-fachen Nutzlast **SWL** (Gewicht + Nutzlast **NL** des Unterwasserfahrzeugs).

4.4 Statische Prüfung des Umbilical-Anschlagpunkts an dem Unterwasserfahrzeug mit dem 2,2-fachen der maximal zulässigen Zugbelastung des Umbilicals.

5. Tauch-, Regel- und Trimmsysteme sowie Lenzeinrichtungen

5.1 Absperrbare Tauchzellen sind einer Dichtheitsprüfung mit Luft bei einem Prüfdruck von 0,2 bar zu unterziehen bzw. bei offenen Tauchzellen hat eine Dichtheitsprüfung der Lüftungsventile zu erfolgen.

5.2 Die Regelzellen, die ihren Füllungszustand mit Hilfe von Druckluft verändern, sind einer hydraulischen Druckprüfung mit dem 1,5-fachen des zulässigen Betriebsüberdruckes, aber mindestens mit dem Prüftauchdruck **TDP** zu unterziehen.

5.3 Trimmzellen, die im Inneren des Druckkörpers angeordnet sind und den Füllstand über Pumpen verändern, sind als Schwerkrafttanks zu betrachten; wenn jedoch der Füllstand durch Druckluft verändert wird, sind sie einer hydraulischen Innendruckprüfung mit dem 1,5-fachen zulässigen Betriebsüberdruck zu unterziehen.

Trimmzellen, die außerhalb des Druckkörpers in der Außenstruktur angeordnet sind und den Füllstand über Pumpen verändern, sind einer Außendruckprüfung bei Prüftauchdruck **TDP** zu unterziehen; bei Veränderung des Füllstandes durch Druckluft ist zusätzlich eine Prüfung bei 1,5-fachem zulässigen Betriebsüberdruck im Inneren erforderlich.

5.4 Tauch-, Regel- und Trimmsysteme sind einer Funktionsprüfung im Normal- und Notbetrieb zu unterziehen.

Die Messeinrichtungen sowie die Sicherheits- und Alarmeinrichtungen sind zu überprüfen.

5.5 Die Tauchzellenentlüftung und die Bedienelemente sind einer Funktionsprüfung zu unterziehen.

6. Behälter und Apparate unter Druck

6.1 Vor Isolierung oder Anstrich der Behälter ist eine Wasserdruckprüfung durchzuführen. Die Wandungen dürfen dabei keine bleibenden Formänderungen zeigen oder undicht werden.

6.2 Der Prüfdruck beträgt bei Behältern und Apparaten mit Beanspruchung durch Innendruck im Allgemeinen das 1,5-fache des zulässigen Betriebsüberdruckes PB.

6.3 Behälter und Apparate, die unter äußerem Überdruck stehen, sind einer Außendruckprüfung zu unterziehen. Der Prüfdruck muss mindestens dem Prüftauchdruck **TDP** des Druckkörpers entsprechen.

6.4 Für Behälter und Apparate unter Druck, deren Druckfestigkeit nicht ausreichend rechnerisch nachgewiesen werden kann, ist eine alternative Prüfung mit dem GL abzustimmen.

7. Rohrleitungssysteme, Umbilicals, Pumpen und Verdichter

7.1 Rohrleitungssysteme

7.1.1 Alle Rohrleitungen sind nach Fertigstellung, jedoch vor Isolierung oder Anstrich einer Wasserdruckprüfung mit dem 1,5-fachen zulässigen Betriebsüberdruck zu unterziehen. Rohrleitungen unter Tauchdruck sind außerdem mit dem Prüftauchdruck **TDP** (je nach Belastungsfall außen oder innen) zu prüfen.

7.1.2 Nach Einbau an Bord sind alle Rohrleitungssysteme einer Dichtheitsprüfung unter zulässigem Betriebsüberdruck zu unterziehen.

7.1.3 Die Sicherungseinrichtungen sind zu überprüfen.

7.1.4 Rohrleitungen für Atemgas und Sauerstoff sind einem Reinheitstest zu unterziehen.

7.2 Pumpen und Verdichter

7.2.1 Druckbeaufschlagte Pumpen- bzw. Verdichterkomponenten sind einer hydraulischen Druckprüfung zu unterziehen. Der Prüfdruck beträgt bei Pumpen das 1,5-fache des zulässigen Betriebsüberdruckes, bei Verdichtern das 1,5-fache des Verdichtungsenddruckes der betreffenden Stufe.

7.2.2 Nach Fertigstellung sind Pumpen und Verdichter einer Dichtheitsprüfung mit dem jeweils zulässigen Betriebsüberdruck zu unterziehen, ferner ist eine Leistungsprüfung durchzuführen. Bei Atemgasverdichtern sind auch die Endfeuchte und die möglichen Verunreinigungen des verdichteten Gases zu bestimmen. Außerdem sind die Sicherheitseinrichtungen zu überprüfen.

7.3 Umbilicals/Versorgungsleitungen

Umbilicals/Versorgungsleitungen von nicht-autonomen Unterwasserfahrzeugen haben besonderen Anforderungen zu genügen. Die erforderlichen Prüfungen sind in eine Typprüfung für den Prototyp und in eine Stückprüfung für jedes Endprodukt zu unterteilen.

Alle Aspekte für die Prüfung und Erprobung von Umbilicals werden in Anhang E, D. definiert.

7.4 Schlauchleitungen

Soweit die Anforderungen in 7.3 für Schlauchleitungen zutreffen, sind diese anzuwenden.

8. Antriebs- und Manövriereinrichtungen

Die Gesamtantriebsanlage ist im Rahmen der Erprobungsfahrt unter und über Wasser einem Funktionstest zu unterziehen.

9. Positioniereinrichtungen

Die Positioniereinrichtungen sind zu überprüfen.

10. Arbeitsgeräte

(vergleiche auch Kapitel 3, Abschnitt 5, H.)

10.1 Der Einfluss der Arbeitsgeräte auf das Gesamtsystem ist zu erproben.

10.2 Arbeitsgeräte sind mindestens zu prüfen im Hinblick auf:

- Funktionsfähigkeit entsprechend der spezifizierten Aufgabenstellung bei relevanten Kapazitäten der Geräte
- Steuerung und Überwachung
- die Funktionsfähigkeit der Sicherheitseinrichtungen
- Vermeidung von Gefahren für Taucher sowie für das Unterwasserfahrzeug

10.3 Die Festhalteeinrichtungen sind einem Funktionstest zu unterziehen, dabei sind mindestens folgende Einzelprüfungen durchzuführen im Hinblick auf:

- spezifizierte Haltekraft der Festhaltevorrichtung
- Kraft- und Wegbegrenzungen der Festhalteeinrichtungen sowie die Ausrichtung des Fahrzeugs
- Simulation eines Energieausfalles

11. Elektrische Einrichtungen

11.1 Elektrische Maschinen, Komponenten einschließlich Fahr- und Steuerstände, Kabel und Leitungen sind einer Prüfung im Herstellerwerk gemäß den GL-Vorschriften Elektrische Anlagen (I-1-3) zu unterziehen.

11.2 Vor Inbetriebnahme des Unterwasserfahrzeugs sind alle elektrischen Anlagen und Einrichtungen zu besichtigen und zu erproben.

11.3 Die elektrischen Schutzeinrichtungen sind zu überprüfen, ferner sind die elektrischen Einrichtungen einer Isolationsprüfung zu unterziehen.

11.4 Elektrische Kabel unter äußerem Überdruck sind gemäß den elektrischen Anforderungen für Umbilicals entsprechend 7.3 zu prüfen.

11.5 Zusätzlich sollen alle elektrischen Einrichtungen, die dem Tauchdruck ausgesetzt sind, nach erstmaligem Tauchen einer weiteren Isolationsprüfung unterzogen werden.

12. Automations-, Kommunikations-, Navigations- und Ortungseinrichtungen

12.1 Die Anzeige- und Überwachungsinstrumente sind hinsichtlich Anzeigegenauigkeit und Grenzwerteinstellung gemäß den GL-Vorschriften Automation (I-1-4) zu überprüfen.

12.2 Automationssysteme sind unter Betriebsbedingungen auf einwandfreie Funktion zu überprüfen.

12.3 Die Kommunikationssysteme für Normal- und Notbetrieb sind einer Funktionsprüfung zu unterziehen.

13. Lebenserhaltungssysteme

13.1 Im Rahmen einer Funktionsprüfung ist das einwandfreie Arbeiten der Lebenserhaltungsysteme im Normal- und Notbetrieb nachzuweisen.

13.2 Die Anordnung der O_2-, CO_2- und H_2-Messeinrichtungen ist zu besichtigen und die Anzeigegenauigkeit und Grenzwerteinstellung zu überprüfen.

13.3 Die sanitären Einrichtungen sind auf ordnungsgemäße Funktion zu überprüfen.

13.4 Die Installation des Lüftungssystems ist zu besichtigen und die Funktion der Lüfter und Feuerschutzklappen zu überprüfen.

14. Brandschutz- und Feuerlöscheinrichtungen

14.1 Das Brandverhalten der Inneneinrichtungen ist an Hand der Materialprüfzeugnisse bzw. Prüfzeichen zu überprüfen.

14.2 Es ist zu überprüfen, ob die elektrischen Heizungen und Erhitzer mit einem Überhitzungsschutz ausgerüstet sind.

14.3 Feuerwarn-, -melde- und -löscheinrichtungen sind einer Funktionsprüfung zu unterziehen.

15. Rettungssysteme

Außerhalb des Druckkörpers angeordnete Elemente des Rettungssystems sind mit Prüftauchdruck **TDP** zu prüfen. Weiterhin ist nachzuweisen, dass die Rettungssysteme auch bei maximal zulässiger Neigung des Unterwasserfahrzeugs ordnungsgemäß funktionieren und dass eine ausreichende Stabilität des Fahrzeugs erhalten bleibt.

16. Andockeinrichtungen

16.1 Es ist zu prüfen, dass das Ab- bzw. Andocken des Unterwasserfahrzeugs sicher und ruckfrei erfolgt, und zwar im Normal- und Notbetrieb.

16.2 Bei vorhandener Andockeinrichtung ist zu überprüfen, dass ein Lösen nur bei drucklosem Verbindungsschacht möglich ist.

16.3 Die Sicherheitseinrichtungen sind zu überprüfen.

H. Kennzeichnung

1. Armaturen, Anzeige und Warneinrichtungen

Alle Armaturen, Bedienelemente, Anzeige- und Warneinrichtungen sind mit einer dauerhaften und seewasserbeständigen Kennzeichnung zu versehen.

2. Druckbehälter, Druckgasflaschen und Rohrleitungssysteme

2.1 Alle Druckbehälter und Druckgasflaschen sind an gut sichtbarer Stelle dauerhaft mit folgender Kennzeichnung zu versehen:

- Name oder Firmenbezeichnung des Herstellerwerkes
- Baujahr und Fabriknummer (Druckbehälter)
- Herstellungsnummer (Druckgasflaschen)
- Gasart
- zulässiger Betriebsüberdruck [bar]
- zulässige Betriebstemperatur (für > 50 °C und < -10 °C)
- Rauminhalt [ℓ]
- Prüfdruck [bar]
- Leergewicht (bei Druckgasflaschen) [kg]
- Prüfdatum
- Prüfstempel

2.2 Festinstallierte Druckbehälter, Druckgasflaschen und Rohrleitungssysteme für Gase sind ferner mit einer dauerhaften Farbkennzeichnung gemäß Tabelle 2.2 sowie dem chemischen Symbol der betreffenden Gasart zu versehen. Die Kennzeichnung der Druckbehälter und Druckgasflaschen muss von der Ventilseite her sichtbar sein.

Systeme für andere Medien sind ebenfalls in geeigneter Weise zu kennzeichnen.

Die Abstände der Kennzeichnung sind bei Rohrleitungen entsprechend Funktionalität und Sicherheit zu wählen.

Tabelle 2.2 Kennzeichnung von Gassystemen

Gasart	Chemisches Symbol	Farbcode
Sauerstoff	O_2	weiß
Stickstoff	N_2	schwarz
Luft	---	weiß & schwarz
Helium	He	braun
Sauerstoff/ Helium-Mischgas	O_2/He	weiß & braun

I. Reserveteile

1. Unabhängige Unterwasserfahrzeuge sind mit Reserveteilen auszurüsten.

1.1 Um im Schadensfall auf See den Maschinenbetrieb und die Manövrierfähigkeit des Unterwasserfahrzeugs wieder herstellen zu können, sind an Bord Reserveteile für den Hauptantrieb und die betriebswichtigen Einrichtungen sowie die notwendigen Werkzeuge mitzuführen.

1.2 Bei im Druckkörper angeordneten Batterien, ist ein ausreichender Kabelsatz mit geeignetem Querschnitt zum Überbrücken von Teilbatterien oder Einzelzellen an Bord mitzuführen.

1.3 Der Umfang der Reserveteile ist zu dokumentieren und eine entsprechende Liste an Bord mitzuführen.

2. Bei Unterwasserfahrzeugen, die nur mit Oberflächenbegleitfahrzeugen zusammen operieren können oder von diesen versorgt werden, sind abweichende Regelungen möglich.

Abschnitt 3

Stabilität und Schwimmfähigkeit

A. Allgemeines

1. Klassifizierung

1.1 Unterwasserfahrzeuge erreichen nur dann eine Klassifizierung, wenn nachgewiesen ist, dass ihre Schwimmfähigkeit und ihre statische und dynamische Stabilität in intaktem Zustand dem geplanten Betrieb des Unterwasserfahrzeugs entsprechen. Grundsätzlich soll ein Niveau der Intaktstabilität, wie es im Folgenden definiert ist, eingehalten werden. Nur wenn im Klassenzusatz spezielle Betriebsbedingungen ausgewiesen werden, ist ein geringeres Niveau erlaubt.

Der Hersteller des Unterwasserfahrzeugs kann bzgl. der Intaktstabilität auch die Beurteilung nach anderen bestehenden Stabilitätsvorschriften beantragen, wenn diese vom GL als gleichwertig anerkannt werden.

1.2 Für die Stabilität in beschädigtem Zustand wird hier vorausgesetzt, dass der Druckkörper unverletzt bleibt, aber eine wichtige Zelle in der Außenstruktur durch Beschädigung ausfällt. Für diesen Fall muss noch ausreichende Stabilität vorhanden sein, siehe C.

2. Genehmigungsunterlagen

Die Genehmigungsunterlagen sind in Abschnitt 2, E.2.5 zusammengestellt.

3. Begriffsbestimmungen

In Ergänzung der allgemeinen Begriffsbestimmungen in Abschnitt 2, C. gelten für diesen Abschnitt die folgenden spezifischen Begriffe.

3.1 Wasserdicht

Wasserdicht in Bezug auf ein Element der Konstruktion bedeutet, dass es geeignet ist, das Eindringen von Wasser unter dem Wasserdruck, für den das Element und seine Umgebung konstruiert ist, zu verhindern.

3.2 Wetterdicht

Wetterdicht in Bezug auf eine Öffnung und ihren Verschluss bedeutet, dass unter allen denkbaren Seegangsbedingungen kein Wasser in das aufgetauchte Unterwasserfahrzeug dringt.

3.3 Verdrängungsschwerpunkt

Der Verdrängungsschwerpunkt hat die Bezeichnung **B**↓ für das getauchte Unterwasserfahrzeug und ist der Verdrängung in getauchtem Zustand **Δ**↓ zugeordnet.
Der Verdrängungsschwerpunkt für das aufgetauchte Unterwasserfahrzeug hat die Bezeichnung **B**↑ und ist der Verdrängung im aufgetauchten Zustand **Δ**↑ zugeordnet.

3.4 Gewichtsschwerpunkt

Der Gewichtsschwerpunkt für den jeweiligen Lastfall hat die Bezeichnung **G**.

3.5 Metazentrum

Das Metazentrum mit der Bezeichnung **M** ist der Schnittpunkt der Auftriebsresultierenden durch den Formschwerpunkt mit der Mittelachse bei Krängungswinkeln $0° < \varphi \leq 5°$. Für größere Krängungswinkel φ ist das Metazentrum entsprechend zu ermitteln.

4. Stabilitätsunterlagen

Bezüglich der erforderlichen Stabilitätsunterlagen siehe Abschnitt 2, E.2.5.

B. Intaktstabilität

1. Schwimmfähigkeit in aufgetauchtem Zustand

1.1 Je nach Typ des Unterwasserfahrzeugs und nach Fahrtgebiet ist der Abstand zwischen der Wasserlinie in voll aufgetauchtem Zustand und der Oberkante von Einstiegsöffnungen, Luftrohren usw. die in aufgetauchtem Zustand geöffnet sein können, vom GL zu genehmigen.

Wenn oben offene Schanzkleider/Lukensülle vorhanden sind, sind entsprechende Lenzeinrichtungen vorzusehen.

1.2 Alle Unterwasserfahrzeuge müssen im aufgetauchten Zustand genügend Reserveverdrängung haben, um die Stabilitätsanforderungen dieses Abschnitts zu erfüllen. Diese Verdrängungsreserve ist rechnerisch nachzuweisen.

1.3 Die Reserveverdrängung soll im Normalfall 10 % des druckfesten Volumens umfassen.

1.4 Für offene Tauchzellen ist für alle vorgesehenen Seegangsbedingungen nachzuweisen, dass genügend Verdrängung bei den zu erwartenden Krängungs- und Trimmzuständen zur Verfügung bleibt.

2. Stabilitätslastfälle

2.1 Allgemeines

Im Allgemeinen sind die folgenden Stabilitätslastfälle zu untersuchen. Sofern diese Lastfälle auf den Einzelfall nicht ausreichend anzuwenden sind, sind andere oder zusätzliche Lastfälle mit dem GL zu vereinbaren.

Alle Lastfälle sind sowohl mit der geringsten als auch mit der höchsten vorgesehenen Wasserdichte, vgl. Abschnitt 2, D.3. zu untersuchen.

Für die Lage des Unterwasserfahrzeugs in getauchtem Zustand ist ebener Kiel anzunehmen.

Tanks mit großer Breite bzw. großer Länge sollen zur Verzögerung des negativen Einflusses von freien Flüssigkeitsoberflächen durch Trenn-/Prallbleche geschützt werden.

Eine Zusammenstellung der Lastfälle gibt Tabelle 3.1.

2.2 Lastfall 1a: Aufgetaucht, Beginn der Reise mit 100 % Vorräten, ohne Nutzlast NL

Das Unterwasserfahrzeug ist voll ausgerüstet und bemannt, Tauchzellen leer, Trimmzellen 50 % voll, Regelzellen leer, Vorräte und Treibstofftanks (so vorhanden) 100 % voll, etwaige Ausfahrgeräte ausgefahren, ohne Nutzlast **NL** (d.h. keine Passagiere und/oder keine aufgenommenen Materialien, Zusatzgeräte usw.)

2.3 Lastfall 1b: Aufgetaucht, Ende der Reise mit 10 % Vorräten, ohne Nutzlast NL

Das Unterwasserfahrzeug ist voll ausgerüstet und bemannt, Tauchzellen leer, Trimmzellen 50 % voll, Regelzellen leer, Vorräte und Treibstofftanks (so vorhanden) 10 %, Druckluft 50 % und Sauerstoff 10 % voll, etwaige Ausfahrgeräte ausgefahren, ohne Nutzlast **NL**. Bei Unterwasserfahrzeugen mit reinem Elektroantrieb und relativ kleinen Mengen von Druckluft und Sauerstoff wird zu prüfen sein, ob dieser Lastfall sich vom Lastfall 1a wesentlich unterscheidet und getrennt untersucht werden muss.

2.4 Lastfall 1c: Aufgetaucht, Ende der Reise mit 10 % Vorräten, ohne Nutzlast NL, nach Abwurf von festem Ballast

Das Unterwasserfahrzeug ist voll ausgerüstet und bemannt, Tauchzellen leer, Trimmzellen leer, Regelzellen leer, Vorräte und Treibstofftanks (so vorhanden) 10 %, Druckluft 50 % und Sauerstoff 10 % voll, etwaige Ausfahrgeräte ausgefahren, ohne Nutzlast **NL**. Der feste Ballast wurde als Auftauchhilfe abgeworfen.

2.5 Lastfall 2a: Aufgetaucht, Beginn der Reise mit 100 % Vorräten, mit Nutzlast NL

Das Unterwasserfahrzeug ist voll ausgerüstet und bemannt, Tauchzellen leer, Trimmzellen 50 % voll, Regelzellen leer, Vorräte und Treibstofftanks (so vorhanden) 100 % voll, etwaige Ausfahrgeräte ausgefahren, mit Nutzlast **NL** (d.h. mit Passagieren und/oder aufgenommenen Materialien, Zusatzgeräte usw.)

2.6 Lastfall 2b: Aufgetaucht, Ende der Reise mit 10 % Vorräten, mit Nutzlast NL

Das Unterwasserfahrzeug ist voll ausgerüstet und bemannt, Tauchzellen leer, Trimmzellen 50 % voll, Regelzellen leer, Vorräte und Treibstofftanks (so vorhanden) 10 %, Druckluft 50 % und Sauerstoff 10 % voll, etwaige Ausfahrgeräte ausgefahren, mit Nutzlast **NL**. Bei Unterwasserfahrzeugen mit reinem Elektroantrieb und relativ kleinen Mengen von Druckluft und Sauerstoff wird zu prüfen sein, ob dieser Lastfall sich vom Lastfall 2a wesentlich unterscheidet und getrennt untersucht werden muss.

2.7 Lastfall 2c: Aufgetaucht, Ende der Reise mit 10 % Vorräten, mit Nutzlast NL, nach Abwurf von festem Ballast

Das Unterwasserfahrzeug ist voll ausgerüstet und bemannt, Tauch und Trimmzellen leer, Regelzellen leer, Vorräte und Treibstofftanks (so vorhanden) 10 %, Druckluft 50 % und Sauerstoff 10 % voll, etwaige Ausfahrgeräte ausgefahren, mit Nutzlast **NL**. Der feste Ballast wurde als Auftauchhilfe abgeworfen.

2.8 Lastfall 3a: Getaucht, Beginn der Reise mit 100 % Vorräten, ohne Nutzlast NL

Das Unterwasserfahrzeug ist voll ausgerüstet und bemannt, Tauchzellen geflutet, Trimmzellen 50 % voll, Regelzellen 20 % voll, Vorräte und Treibstofftanks (so vorhanden) 100 % voll, etwaige Ausfahrgeräte eingezogen, ohne Nutzlast **NL**.

2.9 Lastfall 3b: Getaucht, Ende der Reise mit 10 % Vorräten, ohne Nutzlast NL

Das Unterwasserfahrzeug ist voll ausgerüstet und bemannt, Tauchzellen geflutet, Trimmzellen 50 % voll, Regelzellen 80 % voll, Vorräte und Treibstofftanks (so vorhanden) 10 % voll, Druckluft 50 % und Sauerstoff 10 % voll, etwaige Ausfahrgeräte eingezogen, ohne Nutzlast **NL**.

2.10 Lastfall 4a: Getaucht, Beginn der Reise mit 100 % Vorräten, mit Nutzlast NL

Das Unterwasserfahrzeug ist voll ausgerüstet und bemannt, Tauchzellen geflutet, Trimmzellen 50 % voll, Regelzellen 10 % voll, Vorräte und Treibstofftanks (so vorhanden) 100 % voll, etwaige Ausfahrgeräte eingezogen, mit Nutzlast **NL**.

2.11 Lastfall 4b: Getaucht, Ende der Reise mit 10 % Vorräten, mit Nutzlast NL

Das Unterwasserfahrzeug ist voll ausgerüstet und bemannt, Tauchzellen geflutet, Trimmzellen 50 % voll, Regelzellen 70 % voll, Vorräte und Treibstofftanks (so vorhanden) 10 % voll, Druckluft 50 % voll, etwaige Ausfahrgeräte eingezogen, mit Nutzlast **NL**.

Tabelle 3.1 Zusammenstellung der Stabilitätslastfälle

Lastfälle / Lasten	1a	1b	1c	2a	2b	2c	3a	3b	4a	4b
	aufgetaucht						getaucht			
	ohne Nutzlast		Ballast abgeworfen	mit Nutzlast		Ballast abgeworfen	ohne Nutzlast		mit Nutzlast	
	Alle Werte sind Prozentsätze der maximal möglichen Last [%]									
Unterwasserfahrzeuge [1]	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Besatzung	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Tauchzellen	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100
Trimmzellen	50	50	0 [3]	50	50	0 [3]	50	50	50	50
Regelzellen [2]	[2]	[2]	[2]	[2]	[2]	[2]	20 [4]	80 [4]	10 [4]	70 [4]
Luft	100	50	50	100	50	50	100	50	100	50
Sauerstoff	100	10	10	100	10	10	100	10	100	10
Vorräte	100	10	10	100	10	10	100	10	100	10
Treibstoff	100	10	10	100	10	10	100	10	100	10
Schmieröl, Betriebsmittel	100	10	10	100	10	10	100	10	100	10
abwerfbarer Ballast	100	100	0	100	100	0	100	100	100	100
Passagiere	0	0	0	100	100	100	0	0	100	100
andere Nutzlasten	0	0	0	100	100	100	0	0	100	100

[1] Unterwasserfahrzeuge voll ausgerüstet

[2] Je nach geometrischer Anordnung der Regelzellen ist der Prozentsatz für den ungünstigsten Stabilitätsfall zugrunde zu legen.

[3] für den Fall, dass die Trimmzellen lenzbar ausgeführt sind

[4] genauerer Prozentsatz abhängig von Umgebungsfaktoren, z.B. Seewasserdichte

2.12 Weitere Lastfälle

Falls erforderlich, sind in Abstimmung zwischen dem Betreiber des Unterwasserfahrzeugs und dem GL weitere Lastfälle zu untersuchen.

3. Voraussetzungen für die Berechnung

Zwecks Vereinheitlichung und Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen Projekten sollen bei den Berechnungen, die dem GL eingereicht werden, folgende Voraussetzungen eingehalten werden:

- Die Verdrängung soll in metrischen Tonnen (1000 kg) gerechnet werden.
- Der Bereich des Salzgehalts, in dem das Unterwasserfahrzeug eingesetzt werden soll, ist eindeutig zu definieren.
- Für das Gewicht der Besatzung bzw. der Passagiere ist normalerweise 75 kg/Person anzunehmen. In Abhängigkeit von Einsatzgebiet und Einsatzzweck könnte diese Annahme aber zu gering sein und ist daher mit dem Hersteller abzustimmen.
- Die Dichte aller zu verwendenden Flüssigkeiten in Tanks und Bunkern ist mit dem Hersteller abzustimmen.

4. Aufrichtende Hebelarme

4.1 Definition

Ein aufrichtender Hebelarm h ist wie folgt definiert:

$$h = \frac{\text{aufrichtendes Moment [mt]}}{\text{Verdrängung } \Delta\uparrow \text{ oder } \Delta\downarrow \text{[t]}} \text{ [m]}$$

4.2 Aufgetauchtes Unterwasserfahrzeug

Die aufrichtenden Hebelarme h_{sw} für das aufgetauchte Unterwasserfahrzeug sind in ruhiger See für die in

2. definierten Lastfälle und folgende Bedingungen zu bestimmen.

Die Hebelarme in ruhiger See sind für die Krängungswinkel φ = 10°, 20°, 30°, 45°, 60° und 75° zu ermitteln und in Hebelarmkurven darzustellen. Für Fahrt im Seegang siehe 6.5.

4.3 Getauchtes Unterwasserfahrzeug

Die Hebelarme des getauchten Unterwasserfahrzeugs ergeben sich aus der Tatsache, dass der Gewichtsschwerpunkt unter dem Verdrängungsschwerpunkt gelegen sein muss, zu:

$$h_{sub} = \overline{\mathbf{B}\downarrow \mathbf{G}} \cdot \sin\varphi$$

5. Krängende Hebelarme

5.1 Definition

Ein krängender Hebelarm k ist wie folgt definiert:

$$k = \frac{\text{krängendes Moment [mt]}}{\text{Verdrängung } \boldsymbol{\Delta}\uparrow \text{ oder } \boldsymbol{\Delta}\downarrow [t]} \text{ [m]}$$

Die krängenden Hebelarme sind für φ = 10°, 20°, 30°, 45°, 60° und 75° zu ermitteln.

5.2 Aufgetauchtes Unterwasserfahrzeug

Es sind die folgenden Krängungseinflüsse zu berücksichtigen:

5.2.1 Freie Oberflächen

In teilgefüllten Tanks und Bunkern haben die Flüssigkeiten freie Oberflächen, die zum Krängungsmoment durch einen krängenden Hebelarm k_F folgendermaßen beitragen:

$$k_F = \frac{1}{\boldsymbol{\Delta}\uparrow} \cdot \Sigma\left(p_i \cdot b_{\varphi i}\right) \text{ [m]}$$

p_i = Masse der Flüssigkeit im Tank/Bunker i mit freier Oberfläche [t]

$b_{\varphi i}$ = Auswanderung des Flüssigkeitsschwerpunkts gegenüber der Lage bei aufrechtem Unterwasserfahrzeug parallel zur Wasserlinie gemessen

5.2.2 Drehkreis

Soweit erforderlich, ist die Fahrt im Drehkreis mit krängendem Hebelarm k_D zu berücksichtigen. Siehe auch Abschnitt 4, C.6.

5.2.3 Wind

Die Berechnung der Windkräfte an den über der Wasserlinie befindlichen Elementen ist entsprechend Abschnitt 4, C.1. vorzunehmen. Daraus folgt ein krängender Hebelarm k_W.

Entsprechend dem Einsatzgebiet sind die zu verwendenden Werte für die Windgeschwindigkeit mit dem GL abzustimmen.

5.2.4 Eislasten

Falls das geplante Fahrtgebiet des Unterwasserfahrzeugs es erfordert, ist die Berechnung der Eislasten an den über der Wasserlinie befindlichen Elementen entsprechend Abschnitt 4, C.4. vorzunehmen. Daraus folgt ein krängender Hebelarm k_E.

5.2.5 Zugangslasten

Bei der Übernahme von Ausrüstung, Vorräten oder Personen von Land oder dem Begleitschiff zu einer Seite des Unterwasserfahrzeugs kann ein krängender Hebelarm k_P zu berücksichtigen sein.

5.2.6 Trossenzug

Beim Schleppen des Unterwasserfahrzeugs kann durch den Trossenzug ein krängender Hebelarm k_T hervorgerufen werden.

5.2.7 Nutzlast NL

Wenn die Nutzlast bzw. die Arbeitsgeräte ihre Position in Querrichtung ändern können, ist ein krängender Hebelarm k_N zu berücksichtigen.

5.2.8 Versorgungsleitungen/Umbilicals

Bei nicht autonomen Unterwasserfahrzeugen können – je nach Anordnung – seitliche Zugkräfte durch die Versorgungsleitungen vom Begleitschiff auftreten. Dies ist als krängender Hebelarm k_V zu berücksichtigen.

5.2.9 Abwurf von Ballast

Falls der Ballast als Auftauchhilfe abgeworfen wurde, verschiebt sich der Gewichtsschwerpunkt nach oben, wodurch sich der Abstand GM verringert.

5.3 Getauchtes Unterwasserfahrzeug

Für das getauchte Unterwasserfahrzeug sind folgende Einflüsse, die zu krängenden Hebelarmen führen, zu berücksichtigen:

- Freie Oberflächen von Flüssigkeiten in Tanks und Bunkern, vgl. 5.2.1 mit Hebelarm k_F. Anstelle von $\Delta\uparrow$ ist $\Delta\downarrow$ einzusetzen.
- Fahrzeugbewegungen im dreidimensionalen Raum mit krängendem Hebelarm k_D, vgl. 5.2.2 und Abschnitt 4, C.6.
- Einfluss der Nutzlast mit krängendem Hebelarm k_N, vgl. 5.2.7
- Zugkräfte aus den Versorgungsleitungen bei nicht-autonomen Unterwasserfahrzeugen mit krängendem Hebelarm k_V, vgl. 5.2.8.
- Abwurf von Ballast

6. Kriterien für Intaktstabilität

6.1 Zusammenstellung der Einflüsse

Die aufrichtenden und krängenden Hebelarme sind in Tabelle 3.2 zusammengestellt.

6.2 Stabilitätsnachweis

6.2.1 Hebelarmkurven

Der Nachweis ausreichender Stabilität ist in einer Gegenüberstellung der Kurven der aufrichtenden Hebelarme h und der krängenden Hebelarme k zu erbringen. Es ist zu berücksichtigen, wieweit krängende Hebelarme gleichzeitig auftreten können. Bewertung für die Beurteilung ist die Größe des Resthebels und des statischen Krängungswinkels. Als Resthebel h_{rem} bezeichnet man den über der Kurve der Krängungshebel verbleibenden restlichen Aufrichthebel, siehe Abb. 3.1.

6.2.2 Mindestwerte der Stabilität

Zwischen dem Winkel des statischen Gleichgewichts φ_{stat} und dem Winkel des Eintauchens der ersten ungeschützten Öffnung φ_{ref} oder dem Winkel φ' des zweiten Schnittpunkts der Kurven der krängenden und aufrichtenden Hebelarme oder des Schnittpunkts des aufrichtenden Hebelarms mit der Abszisse, wobei der kleinste Winkel zu berücksichtigen ist, müssen positive Resthebelarme h_{rem} vorhanden sein. Im Allgemeinen sollte der Resthebelarm h_{rem} getaucht mindestens 0,05 m und aufgetaucht 0,10 m betragen, im aktuellen Fall ist dieser Wert mit dem GL abzustimmen.

Entscheidend für die Beurteilung der Anfangsstabilität ist die Größe des Wertes $\overline{\mathbf{GM}}$ (= vertikaler Abstand zwischen dem Gewichtsschwerpunkt und dem Metazentrum) für das aufgetauchte Unterwasserfahrzeug bzw. die Größe des Wertes $\overline{\mathbf{B}\downarrow \mathbf{G}}$ (= vertikaler Abstand zwischen dem Gewichts- und dem Verdrängungsschwerpunkt) beim getauchten Unterwasserfahrzeug. Die einzuhaltenden Mindestwerte sind in Tabelle 3.3 definiert.

6.3 Tiefgang

Der Tiefgang des aufgetauchten Unterwasserfahrzeugs ist der zulässige Tiefgang, welcher aus Gründen der Schwimmfähigkeit und der Stabilität möglich ist. Er wird im Allgemeinen für den Lastfall 2a erreicht werden.

Der Tiefgang ist an beiden Seiten des Unterwasserfahrzeugs deutlich und unveränderbar, eindeutig kenntlich zu machen.

6.4 Trimmdiagramm

Das Trimmdiagramm dient der graphischen Darstellung des Bereichs der Gewichts- und Trimmmomente in Längsrichtung des Unterwasserfahrzeugs welcher durch die Steuerung des Wassers für die Regel- und Trimmzellen, sowie spezielle Volumina (z.B. Taucherschleuse) erreicht werden kann.

Diese Möglichkeiten sind im Trimmdiagramm in Form eines Polygons darzustellen. Hierbei ist nachzuweisen, dass die Verdrängung von zusätzlicher Beladung (z.B. infolge von Aufnahme von Nutzlasten) durch Füllungsänderung der Regelzellen sowie der Trimm durch die Füllung der Trimmzellen ausgeglichen werden kann. Liegen die Markierungspunkte der Ladefälle innerhalb des Polygonzugs, so kann der Ausgleich mit Bordmitteln vorgenommen werden.

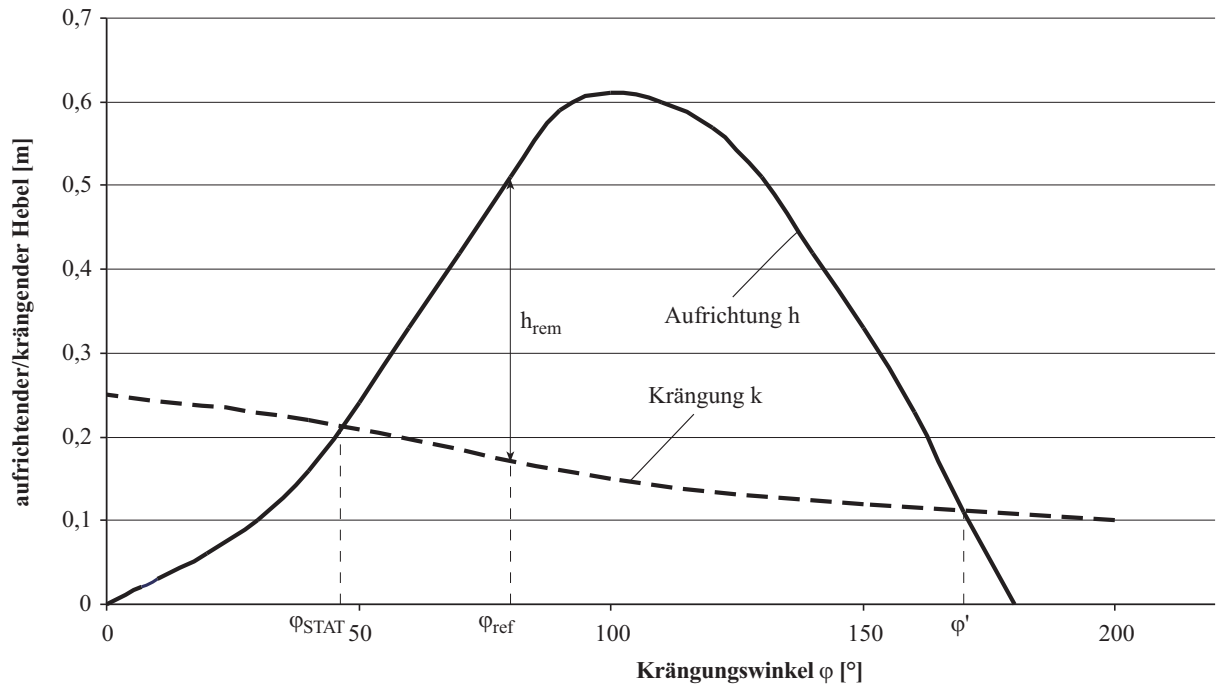


Abb. 3.1 Hebelarmkurven

Tabelle 3.2 Zusammenstellung der aufrichtenden und krängenden Hebelarme

Lastfälle		aufgetaucht / ohne Seegang		getaucht	
Nr.	**Bezeichnung**	**aufrichtend**	**krängend**	**aufrichtend**	**krängend**
1a	100 % Vorräte ohne Nutzlast	h_{sw}	k_F, k_D, k_W, k_E, k_P, k_T, k_V	–	–
1b	10 % Vorräte ohne Nutzlast	h_{sw}	k_F, k_D, k_W, k_E, k_P, k_T, k_V	–	–
1c	10 % Vorräte ohne Nutzlast ohne Ballast	h_{sw}	k_F, k_D, k_W, k_E, k_P, k_T, k_V	–	–
2a	100 % Vorräte mit Nutzlast	h_{sw}	k_F, k_D, k_W, k_E, k_P, k_T, k_V, k_N	–	–
2b	10 % Vorräte mit Nutzlast	h_{sw}	k_F, k_D, k_W, k_E, k_P, k_T, k_V, k_N	–	–
2c	10 % Vorräte mit Nutzlast ohne Ballast	h_{sw}	k_F, k_D, k_W, k_E, k_P, k_T, k_V, k_N	–	–
3a	100 % Vorräte ohne Nutzlast	–	–	h_{sub}	k_F, k_D, k_V
3b	10 % Vorräte ohne Nutzlast	–	–	h_{sub}	k_F, k_D, k_V
4a	100 % Vorräte mit Nutzlast	–	–	h_{sub}	k_F, k_D, k_V, k_N
4b	10 % Vorräte mit Nutzlast	–	–	h_{sub}	k_F, k_D, k_V, k_N

Tabelle 3.3 Mindestwerte für ausreichende Anfangsstabilität

Betriebszustand	Stabilitätskriterium	Abstand [m]
aufgetaucht	Abstand $\overline{\mathbf{GM}}$	0,10 [1]
getaucht	Abstand $\overline{\mathbf{B{\downarrow}\,G}}$	0,05 [1]
[1] im aktuellen Fall ist dieser Wert mit dem GL abzustimmen		

6.5 Dynamische Intaktstabilität

6.5.1 Dieser bei Überwasserfahrt im Seegang mögliche Stabilitätsfall ist vor allem dann zusätzlich zu 4.2 zu untersuchen, wenn längere Überwasserfahrten in einem bestimmten Seegebiet mit vorherrschender Windrichtung und bestimmten erforderlichen Kursen des Unterwasserfahrzeugs geplant sind.

In diesem Fall ist es angebracht, die Untersuchungen bereits im Entwurfsstadium durchzuführen:

- Unterwasserfahrzeug im Seegang auf dem Wellenberg: h_C
- Unterwasserfahrzeug im Seegang im Wellental: h_T
- Unterwasserfahrzeug im Seegang bei einem mittleren Wellenberg und Wellental: h_{wv}

Bei den Seegangsbedingungen wird insbesondere die Länge des Unterwasserfahrzeugs in Relation zu den kritischen Wellenlängen und -höhen des Einsatzgebietes zu berücksichtigen sein. Dadurch kann sich eine Reduzierung der o.a. Zustände ergeben.

6.5.2 Für unabhängige Unterwasserfahrzeuge ist die dynamische Stabilität in jedem Fall zu untersuchen.

Der GL kann dafür eine spezielle Beratung und auch entsprechende Berechnungsverfahren anbieten.

6.6 Spezielle Bauformen

Für spezielle Bauformen von Unterwasserfahrzeugen könnten die vorstehend definierten Kriterien nicht direkt anwendbar sein. In diesem Fall sind mit dem GL besondere Vereinbarungen zu treffen.

C. Stabilität in beschädigtem Zustand

1. Beschädigungsgrad

Entsprechend A.1.2 wird für die Stabilität in beschädigtem Zustand bei den hier relevanten Unterwasserfahrzeugen vorausgesetzt, dass

- der Druckkörper unverletzt bleibt,

– die Außenstruktur deformiert ist,
– eine wichtige Zelle (z.B. Tauchzelle) in der Außenstruktur durch die Beschädigung ausfällt,
– ein Not-Betrieb des Unterwasserfahrzeugs ohne Gefährdung der Besatzung möglich ist.

2. Aufgetauchtes Unterwasserfahrzeug

2.1 Aufrichtende Hebelarme

Schwimmfähigkeit und aufrichtende Hebelarme können sich durch den veränderten Schwerpunkt der Außenstruktur und durch Ausfall des Auftriebs der beschädigten Zelle gegenüber B.4.2 verringern.

2.2 Krängende Hebelarme

Der Hebelarm k_F für freie Oberflächen entsprechend B.5.2.1 ist zu überprüfen. Bezüglich des Hebelarms k_W für die Windbelastung entsprechend B.5.2.3 ist insbesondere zu prüfen, wieweit sich die Windangriffsfläche und ihr Schwerpunkt durch die neuen Schwimmverhältnisse geändert haben.

2.3 Schwimmfähigkeits- und Stabilitätskriterien

Die folgenden Bedingungen müssen nach der Beschädigung zutreffen:

– Öffnungen zum Druckkörper müssen noch genügend Freibord haben, damit kein Wasser bei offenen Luken in den Druckkörper eindringen kann.
– Die Krängung des Fahrzeugs soll $\varphi = 22{,}5°$ nicht überschreiten. Dabei soll auch der Trimm nach vorn oder achtern unter 10° bleiben.
– Ein positiver Resthebelarm h_{rem} muss gewährleistet bleiben. Sein Wert ist entsprechend der Bauart mit dem GL abzustimmen.

3. Getauchtes Unterwasserfahrzeug

3.1 Es ist zu prüfen, wie sich der Verdrängungsschwerpunkt verändert und ob sich deshalb kritischere Verhältnisse einstellen.

3.2 Tauchfähigkeits- und Stabilitätskriterien

Die folgenden Bedingungen müssen auch nach der Beschädigung zutreffen:

– Das Unterwasserfahrzeug muss weiterhin in der Lage sein, sicher aufzutauchen.
– Der Gewichtsschwerpunkt muss weiterhin unter dem Verdrängungsschwerpunkt liegen.

D. Tauch-, Trimm- und Krängungsversuche

1. Allgemein

1.1 Praktische Versuche sind mit dem voll ausgerüsteten, für den Normalbetrieb vorgesehenen Unterwasserfahrzeug bei einem Neubau, aber auch bei wesentlichen Umbauten durchzuführen.

1.2 Wenn eine identische Serie von Unterwasserfahrzeugen auf einer Werft gebaut wird, sind die Versuche nur für das erste Unterwasserfahrzeug durchzuführen. Wenn identische Unterwasserfahrzeuge auf verschiedenen Werften gebaut werden, sind Versuche mit dem ersten Fahrzeug jeder Werft durchzuführen.

1.3 Die Versuche sind in Anwesenheit eines GL- Besichtigers durchzuführen.

1.4 Die in 2. bis 5. definierten Versuche sind in der angegebenen Reihenfolge durchzuführen.

2. Tauchversuch

Es sind folgende Schritte durchzuführen:

– Für den Versuch ist ausreichende Wassertiefe zu wählen.
– Das spezifische Gewicht des Wassers ist festzustellen.
– Die Tauchzellen sind komplett mit Wasser zu füllen, Lufteinschlüsse sind zu vermeiden.
– Durch entsprechende Füllung der Regelzelle(n) ist der Gewichtszustand des Bootes für den Schwebezustand des Unterwasserfahrzeugs unter Wasser zu ermitteln.
– Durch geeignete Verteilung des Wassers zwischen den Trimmzellen ist das Unterwasserfahrzeug auf ebenen Kiel zu bringen und die erforderliche Füllung der Regel- und Trimmzellen festzustellen.

3. Krängungsversuch unter Wasser

Der Krängungsversuch am getauchten Fahrzeug dient der Bestimmung des Gewichtsschwerpunkts unter Wasser als Basis für die in B.2. beschriebenen Stabilitätsbetrachtungen.

Der Zustand des Unterwasserfahrzeugs entspricht dem Tauchversuch nach 2.

Bei der Versuchsvorbereitung ist folgendes zu beachten:

– Der Einfluss freier Oberflächen in Tanks, Rohrleitungen, usw. ist möglichst gering zu halten.
– Ausgangskrängungswinkel von mehr als 1° sind mit extra Gewichten/Ballast zu verhindern.

Es sind folgende Schritte durchzuführen:

– Eine Krängung/Vertrimmung des Unterwasserfahrzeugs ist durch Versetzung von mitgebrachten Versuchsgewichten zu den Seiten bzw. nach vorne und achtern einzuleiten.
– Diese Gewichte sind so zu wählen, dass eine Krängung von 1,5 bis 3° nach jeder Richtung entsteht.

- Der Krängungswinkel ist mit zwei geeigneten Einrichtungen zu messen, wobei mindestens eine davon ein gedämpftes Pendel mit Strichplatte sein soll.
- Der Versuch ist mindestens 2 x nach jeder Seite bzw. vorne und achtern mit unterschiedlichen krängenden Momenten zu wiederholen, der Mittelwert der Messungen ist zu bestimmen,
- Am Ende des Versuchs ist der Ausgangszustand der Belastung wieder herzustellen und die Schwimmlage auf Übereinstimmung mit der Ausgangslage zu überprüfen.

4. Krängungsversuch über Wasser

Der Krängungsversuch am aufgetauchten Fahrzeug mit 100 % leeren Tauchzellen dient der Bestimmung des Gewichtsschwerpunkts aufgetaucht als Basis für die in B.2. beschriebenen Stabilitätsbetrachtungen.

Bei der Versuchsvorbereitung ist vor allem folgendes zu beachten:

- Der Versuch ist in ruhigem Wasser bei nur geringem Wind durchzuführen.
- Der Tiefgang ist vorne, mittschiffs und achtern an Backbord und Steuerbord festzustellen.
- Alle Tanks und Zellen sollen komplett leer sein um den Einfluss freier Oberflächen sicher zu vermeiden, die Ventile des Rohrleitungssystems sind zu schließen.
- Ausgangskrängungs- bzw. Auskrängungstrimmwinkel von mehr als 1° sind mit extra Ballast zu verhindern.

Es sind die gleichen Schritte durchzuführen, wie beim Krängungsversuch unter Wasser (3.).

5. Trimmversuch

Bei voll aufgetauchtem Unterwasserfahrzeug mit 100 % leeren Tauchzellen ist durch Variation der Füllung der vorderen und achteren Trimmzellen festzustellen, ob ein Schwimmzustand auf ebenem Kiel erreichbar ist und welche Trimmzustände nach vorn und achtern erzielt werden können.

Zur Feststellung des Trimmzustandes sind geeignete Messeinrichtungen zu verwenden oder es sind die Ahminge jeweils vorn und achtern abzulesen.

Abschnitt 4

Entwurfsbelastungen

A. Allgemein

1. Geltungsbereich

Dieser Abschnitt fasst alle Belastungen, die für den Entwurf eines bemannten Unterwasserfahrzeugs zu berücksichtigen sind, zusammen

2. Anwendung aktueller Belastungen

Die folgenden Vorschriften entheben den Konstrukteur und die Bauwerft nicht von der Verpflichtung, die aktuellen Belastungen in jedem Einzelfall zu prüfen. Wenn sich während des Entwurfsprozesses herausstellt, dass die aktuellen Belastungen höher sind als in dieser Vorschrift angegeben, sind die aktuellen Lasten in der Berechnung zu berücksichtigen und die Gründe dafür sind darzulegen.

3. Belastungsplan

Alle für ein Unterwasserfahrzeug relevanten Belastungen sollen in einem Belastungsplan zusammengefasst werden. Dabei sind von den nachstehend aufgeführten Belastungen nur die im aktuellen Fall auftretenden heranzuziehen.

B. Druckdefinitionen

1. Druckbelastungsplan

Als Teil des Belastungsplans ist ein Plan aufzustellen, der alle zu berücksichtigenden Drücke für die verschiedenen Teile des Fahrzeugs enthält.

Es ist festzulegen, auf welche Weise die Druckprüfungen durchgeführt werden sollen.

Es ist festzulegen, für welche Komponenten (z.B. Tauch-/Ballasttanks, Batterieräume, Druckkörper usw.) Unterdruck- bzw. Überdruckprüfungen ausgeführt werden müssen.

2. Druck für den Druckkörper

Bezugspunkte für die Druckhöhen sind die Wasseroberfläche und die Unterkante des Druckkörpers bzw. eines Konstruktionselements. Die folgenden Druckhöhen sind zu berücksichtigen.

2.1 Druck für die Nenntauchtiefe

Die Nenntauchtiefe **NDD** [m] ist die Tauchtiefe für den unbeschränkten Betrieb des Unterwasserfahrzeugs. Der Nenntauchdruck **NDP** [bar] für diese Tiefe ergibt sich durch Multiplikation des Wertes von **NDD** mit 0,101 bar/m, sofern es nicht mit dem GL für speziellen Betrieb anders vereinbart ist.

2.2 Druck für die Prüftauchtiefe

Die Prüftauchtiefe **TDD** [m] ist die Tauchtiefe, bei der der Druckkörper bzw. die Ausrüstung nach Fertigstellung oder nach wesentlichen Reparaturen und Umbauten unter Prüfbedingungen dem Außendruck ausgesetzt wird. Der Prüftauchdruck **TDP** [bar], welcher auch in den Druckbelastungsplan einbezogen werden muss, ist der Druck, um den Druckkörper bzw. die Ausrüstung auf Festigkeit, Dichtheit und Funktionsfähigkeit zu prüfen. Der Prüftauchdruck **TDP** ist in Tabelle 4.1 definiert.

Tabelle 4.1 Prüftauchdruck und Zerstörungstauchdruck in Abhängigkeit vom Nenntauchdruck

Nenntauchdruck NDP [bar]	5 [1]	10	20	30	40	50	≥ 60
Prüftauchdruck/Nenntauchdruck S_1 = **TDP/NDP** [3,4]	1,70	1,40	1,25	1,20	1,20	1,20	1,20
Zerstörungstauchdruck/Nenntauchdruck S_2 = **CDP/NDP** [5]	3,20	2,40	2,00	1,87 [2]	1,80 [2]	1,76 [2]	1,73 [2]

1 Mindestnenntauchdruck 5 bar

2 Mindestwert S_2 = 2 für Operationen in Wassertiefen > Nenntauchtiefe

3 Im Bereich **NDP** = 5 …… 30 bar gilt S_1 = 3 / **NDP** + 1,1

4 Bei Druckprüfungen mit einem Faktor > 1,5 ist darauf zu achten, dass alle Anlagenteile, wie z.B. Acrylglasfenster, für diesen Prüftauchdruck **TDP** ausgelegt sind

5 Im Bereich **NDP** = 5 …… 60 bar gilt S_2 = 8 / **NDP** + 1,6

2.3 Druck für die Zerstörungstauchtiefe

Die Zerstörungstauchtiefe **CDD** [m] ist die für die Auslegung des Druckkörpers maßgebliche Tiefe. Der Zerstörungstauchdruck **CDP** [bar] ist der Druck, unter dem der Druckkörper unter Last ohne Berücksichtigung des Kriechverhaltens und der Zeitstandfestigkeit des Werkstoffs zerstört wird.

Im Allgemeinen kann der Zerstörungstauchdruck entsprechend Tabelle 4.1 gewählt werden. Abweichende Faktoren für den Zerstörungstauchdruck können im Einzelfall mit dem GL vereinbart werden.

2.4 Sicherheitsfaktoren

2.4.1 Der Sicherheitsfaktor S_1 des Druckkörpers ist das Verhältnis des Prüftauchdrucks **TDP** entsprechend 2.2 zum Nenntauchdruck **NDP** entsprechend 2.1.

2.4.2 Der Sicherheitsfaktor S_2 des Druckkörpers ist das Verhältnis des Zerstörungstauchdrucks **CDP** entsprechend 2.3 zum Nenntauchdruck **NDP** entsprechend 2.1.

Der Sicherheitsfaktor S_2 soll die folgenden Unsicherheiten abdecken:

- Einflüsse, die beim Berechnungsvorgang nicht berücksichtigt werden können
- Einflüsse infolge von Fertigungsfehlern (Materialfehler, Fertigungsungenauigkeiten, Schweißfehler, Spannungen infolge der Fertigung), vgl. auch Anhang B
- negative Einflüsse durch den Betrieb (Beschädigungen durch Korrosion, übersehene Beulung, Wechselbeanspruchung)
- zeitabhängige Eigenschaften des Materials

3. Drücke für Behälter und Apparate

3.1 Drücke für die Berechnung

3.1.1 Für Behälter und Apparate, welche nicht dem Tauchdruck ausgesetzt sind, ist der Berechnungsdruck gleich dem zulässigen Betriebsüberdruck PB.

3.1.2 Der zusätzliche Auslegungsdruck für Behälter und Apparate, welche dem Tauchdruck ausgesetzt sind, ist das 1,1-fache des Zerstörungstauchdrucks **CDP**.

3.1.3 Berechnungs- und Auslegungsdruck sind nicht für den Nachweis der Betriebsfestigkeit entscheidend, entscheidend ist der während des Betriebes auftretende Maximaldruck, d.h. der Nenntauchdruck **NDP**.

3.2 Prüfdruck

3.2.1 Der Prüfdruck ist der Druck um die Festigkeit zu überprüfen. Die Funktionsprüfung soll nach der Dichtheitsprüfung erfolgen.

3.2.2 Die Prüfdrücke sind in Abschnitt 2, F.6. definiert und auch in Tabelle 4.2 zusammengestellt.

C. Andere äußere Lasten

1. Windlasten

1.1 Allgemein

Belastung durch Wind ist für die Festigkeitsanalyse von exponierten Teilen des aufgetauchten Unterwasserfahrzeugs, wie Turm, etwaigen Masten, Periskopen usw. zu berücksichtigen.

Außerdem ist sie bei Stabilitätsbetrachtungen zu berücksichtigen.

Maximale Windgeschwindigkeiten, Luftdichte, usw. sind mit dem Betreiber für den Einsatzbereich des Unterwasserfahrzeugs zu vereinbaren. Im Folgenden werden Standardwerte verwendet.

1.2 Windkräfte

$$F_W = q_W \cdot c_f \cdot A_W \quad [kN]$$

q_W = Winddruck

= $0{,}5 \cdot \rho_L \cdot v_W^2$ [kN/m^2]

ρ_L = Dichte der Luft [t/m^3]

v_W = Windgeschwindigkeit [m/s]

c_f = Formkoeffizient [-]

A_W = projizierte, dem Wind ausgesetzte Fläche [m^2]

Hinweis

Für ebene Flächen kann der Formkoeffizient mit c_f = 1,0, für abgerundete Flächen kann der Formkoeffizient mit c_f = 0,6 angenommen werden.

Der Wassergehalt in der Luft kann die Luftdichte ρ_L um ungefähr 30 % erhöhen.

2. Strömungswiderstand

Sofern nicht lokale hydrodynamische Drücke entscheidend sind, sondern die Resultierende der hydrodynamischen Kräfte, ist der maximale Strömungswiderstand für mögliche Geschwindigkeiten unter Verwendung von Widerstandskoeffizienten zu berechnen oder durch entsprechende Tests zu ermitteln.

Für alle Bereiche der Außenfläche ist der lokale hydrodynamische Druck bei maximaler Geschwindigkeit zu berücksichtigen.

3. Seeschlag

Die Belastung durch Seeschlag ist für alle Teile der Außenfläche, welche aus dem Wasser austauchen, durch die Annahme eines statischen Ersatzdrucks von:

$$p = 50\ kN/m^2$$

definiert.

Alle ausgetauchten Teile wie der Turm, das Oberdeck usw. brauchen im Allgemeinen nur bis ca. 1 m über der Wasseroberfläche herangezogen werden.

Für konvexe Bereiche kann der Ersatzdruck mit cos α multipliziert werden. Dabei ist der Winkel α der Winkel zwischen der Normale zu der Fläche und der angenommenen Richtung des Seeschlags. Es ist nachzuweisen, dass der Seeschlag lokal vertragen wird, immer unter der Annahme normaler Beaufschlagung. Zusätzlich ist nachzuweisen, dass die resultierenden Kräfte durch die relevanten Elemente der Konstruktion aufgenommen werden können, wobei dies für die ungünstigste Richtung des Seeschlags und die maximalen Geschwindigkeitsverhältnisse nachzuweisen ist. Wenn eine detailliertere Untersuchung davon abweichende Belastungen ergibt, sind diese zu verwenden.

4. Eisablagerung

An den oberhalb der Wasseroberfläche befindlichen Teilen des Unterwasserfahrzeugs kann sich bei Einsatz in entsprechend kalten Fahrbereichen Eis ablagern.

Falls keine anderen Angaben vorliegen, können folgende Belastungen verwendet werden:

- 0,30 kN/m^2 am Oberdeck und anderen horizontalen Flächen
- 0,075 kN/m^2 für die projizierte Seitenfläche der Aufbauten an beiden Seiten
- Für andere kleine Bauteile, wie z.B. die Reling, sollte die projizierte Seitenfläche der Aufbauten um 5 %, das statische Moment um 10 % erhöht werden.

5. Belastungen beim Auftauchen

Sofern sich beim betrieblichen Auftauchen oder beim Auftauchen im Notfall zusätzliche Belastungen durch z.B. Wasser temporär in der Außenstruktur ergeben, sind diese zu berücksichtigen.

6. Beschleunigungen durch Fahrzeugbewegungen und Seegang

Die Beschleunigungen durch die Bewegung des Unterwasserfahrzeugs hängen sehr stark von der Aufgabe und Betriebsweise des Unterwasserfahrzeugs ab. Sie sind mit dem Benutzer abzustimmen.

Hinweis

Als Richtwerte können für die Beschleunigungen 2 g rms vertikal nach unten, 1 g rms vertikal nach oben und 1 g rms seitlich und in Längsrichtung verwendet werden (g = 9,81 m/s^2).

7. Beschleunigungen bei Kollision

In Längsrichtung ist mit einer Beschleunigung bei Kollision von 3 g zu rechnen (g = 9,81 m/s²).

8. Belastungen durch Schleppen, Ankern, Manövrieren und Anheben/Absetzen

Die Bruchlast der gewählten Ankerketten und der Drahtseile ist als Bemessungslast für die relevanten Elemente der Fahrzeugstruktur heranzuziehen.

Falls eine Winde vorhanden ist, ist die maximale Belastung der Winde für die lokalen Belastungen heranzuziehen.

9. Belastung der Propellerwelle

Bei größeren Unterwasserfahrzeugen bei denen die Propellerwelle den Druckkörper durchdringt, ist eine zusätzliche Belastung zu berücksichtigen. Zu dem aus Berechnungen und/oder Modellversuchen ermittelten Propellerschub ist der Tauchdruck, der auf die Propellerwelle bei Nenntauchtiefe **NDD** wirkt, zu addieren, um die Gesamtkraft auf die Propellerwelle bzw. das Drucklager zu ermitteln.

10. Kräfte von Rudern, Flossen und Propulsionsantrieben

Die Kräfte auf Ruder und Flossen sind entsprechend den GL-Vorschriften, Schiffskörper (I-1-1), Abschnitt 14 zu berücksichtigen. Die Schubkräfte und Momente aus den (meist drehbaren) Propulsionsantrieben sind im Einzelfall festzulegen.

D. Innere Lasten

1. Belastungen von wasserdichten und nichtwasserdichten Unterteilungen

1.1 Außendruckdichte Schotte und Decks

Die statische Belastung auf wasserdichte Schotte oder Decks ist:

$$p_{WTstat} = g \cdot \rho \cdot DD \quad [kN/m^2]$$

g = Erdbeschleunigung
= 9,81 [m/s^2]
ρ = Wasserdichte [t/m³]
DD = Nenntauchtiefe **NDD** nach B.2.1 für Lastfall I gemäß E.1.
= Zerstörungstauchtiefe **CDD** nach B.2.3 [m] für Lastfall II gemäß E.2.

In Einzelfällen kann die Tauchtiefe für die Konstruktion der Schotten zwischen dem Hersteller und dem GL abgestimmt werden.

1.2 Nicht-wasserdichte Abteilungen

1.2.1 Die statische Belastung p_{NWT} ist vom Hersteller des Unterwasserfahrzeugs anzugeben, soll jedoch nicht kleiner sein als:

$$p_{NWT} = 2 \text{ kN/m}^2$$

1.2.2 Zusätzlich sind statische und dynamische Belastungen durch an den Schotten und Wänden montierte Geräte und Ausrüstungen zu berücksichtigen.

2. Belastungen auf innere Decks

2.1 Einzellasten

Einzellasten P_E sind als Gesamtgewicht des Geräts, Systems, usw. entsprechend der Art ihrer Fundamentierung anzunehmen. In erster Näherung kann für einzelne statische Punktlasten angesetzt werden:

$$P_{Estat} = 1{,}5 \text{ kN}$$

2.2 Flächenlasten

Die effektiven Lasten sind im Einzelfall zu ermitteln. In erster Näherung kann als statische Flächenlast angesetzt werden:

$$p_{Lstat} = 3 \text{ kN/m}^2$$

3. Belastungen auf Tanks ohne zusätzlichen Innendruck

Der statische Druck ist:

$$p_{TI} = g \cdot h_1 \cdot \rho + 100 \cdot \Delta p \quad [\text{kN/m}^2]$$

h_1 = Abstand des Zentrums der Belastung von Tankoberkante [m]

ρ = spezifisches Gewicht der Flüssigkeit im Tank [t/m^3]

Δp = Einstelldruck des Überdruckventils (falls vorhanden) bzw. zusätzliche Druckkomponente hervorgerufen durch ein Überlaufsystem [bar]

E. Lastfälle für den Druckkörper

Bei den Berechnungen sind die Umgebungsbedingungen gemäß Abschnitt 2, D. zu Grunde zu legen.

1. Lastfall I

Der Lastfall I wird durch die Betriebslasten bestimmt:

- Nenntauchdruck **NDP** entsprechend B.2.1
- Windlasten nach C.1.
- Strömungswiderstand nach C.2.
- Seeschlag nach C.3.
- Eisablagerung nach C.4.
- Belastungen beim Auftauchen nach C.5.
- Beschleunigungen durch Fahrzeugbewegungen und Seegang nach C.6.
- Beschleunigung bei Kollision nach C.7.
- Belastungen durch Schleppen usw. nach C.8.
- Belastung der Propellerwelle nach C.9.
- Kräfte von Rudern, Flossen und Propulsionsantrieben nach C.10.
- Belastungen von Unterteilungen des Druckkörpers nach D.1.
- Belastungen der inneren Decks nach D.2.
- Belastungen der Tanks ohne zusätzlichen Innendruck nach D.3.
- örtliche Zusatzlasten durch Anschlagpunkte und Abstützungen

Es ist die Betriebsfestigkeit für mindestens 5000 Betriebszyklen (Empfehlung: 10000) bei rechteckigem Spektrum in Anlehnung an die GL-Vorschriften, Schiffskörper (I-1-1), Abschnitt 20 nachzuweisen.

2. Lastfall II

Der Lastfall II wird durch die Lasten bei Zerstörungstauchtiefe **CDD** nach B.2.3 bestimmt:

- Für den Druckkörper ist der Zerstörungstauchdruck **CDP** als maximale Belastung anzusetzen, obwohl für die Einzelkomponenten selbst der 1,1-fache Zerstörungtauchdruck **CDP** das Dimensionierungskriterium darstellt.
- Andere Lasten sind nicht zu berücksichtigen.

3. Lastfall III

Der Lastfall III wird durch die Prüflasten bestimmt:

- Prüftauchdruck **TDP** nach B.2.2
- Belastungen aus Festigkeits-, Dichtheits- und Funktionsprüfungen einzelner Bereiche oder des Fahrzeugs als Ganzes
- Druckbelastungen auf die verschiedenen Elemente laut Druckbelastungsplan nach B.1.
- Zusätzlich sind Belastungen von Lastfall I, welche bei den Prüfungen auftreten können, zu überlagern (z.B. Strömungswiderstand, Propellerschub, Ruderkräfte usw.).

F. Zusammenstellung der Drücke für die Elemente von Unterwasserfahrzeugen

Tabelle 4.2 gibt eine Zusammenfassung der in den einzelnen Abschnitten dieser Vorschrift definierten Drücke.
Dabei werden folgende Drücke definiert:

- Berechnungsdruck PR:

  Druck als Eingabe in ein Berechnungsverfahren, das bestimmte Sicherheiten entsprechend dem jeweiligen Fachgebiet einschließt
- Auslegungsdruck PA:

  Grenzwert des Drucks gleich dem oder in Relation zum Zerstörungstauchdruck **CDP**, der ohne irgendwelche Sicherheiten und ohne Berücksichtigung des Kriechverhaltens und der Zeitstandfestigkeit des Werkstoffs gerade noch ertragen wird
- Prüfdruck PP:

  bei der praktischen Prüfung der Elemente anzuwendender Druck
- Druck PB:

  zulässiger innerer Betriebsüberdruck, üblicherweise durch Sicherheitseinrichtungen begrenzt
- Bauteilnenndruck P_N:

  der vom Hersteller angegebene Nenndruck eines Bauteils
- Dichtheitsprüfdruck TTP:

  Bei Dichtheitsprüfungen anzuwendender Druck (Tightness Test Pressure)

Tabelle 4.2 Zusammenstellung der Drücke

Elementgruppe / Element	Referenz: Abschnitt oder Anhang / A-Z/Nr.	Auslegung/Berechnung		Dichtheits-prüfdruck TTP	Prüfdruck PP	weitere Bedingungen
		Aussen-druck	Innen-druck			
Druckkörper und zugehörige Elemente:						
Druckkörper insgesamt	2/F.3.1 4/B.2.2+B.2.3	PA = **CDP**	–	–	**TDP**	–
Betriebsfestigkeit	4/B.2.1 A/B.	PA = **NDP**	–	–	–	–
Schotte	5/C.7.	PA = **CDP**	–	0,2 bar Unterdruck	–	–
Schotttüren	2/F.3.5 5/C.6.4	PA = 1,1 x **CDP**	–	0,2 bar Unterdruck	**TDP**	–
Abteilungen unter innerem Überdruck	2/F.3.1	–	PR = PB	–	1,5 x PB	–
Durchführungen und Verschlüsse	2/F.3.2 5/C.6.2 5/C.6.4	PA = 1,1 x **CDP**	–	0,2 bar Unterdruck	–	–
druckdichte Lukendeckel	2/F.3.4 5/C.6.4	PA = 1,1 x **CDP**	–	**TDP**	–	–
Acryl-Fenster	2/F.3.3 4/Tab. 4.1 5/G.5. C/D.1.	PR = **NDP**	–	–	**TDP** PP < 1,5 x PR	PB ≤ 1380 bar für **TDP** > 1,5 x **NDP**: PR = **TDP**/1,5
Zellen:						
Tauchzellen	2/F.5.1 7/C.2.2	Wellenschlag	statischer Duck	–	0,2 bar	–
Regelzellen unter Tauchdruck/Pumpen	7/D.2.2	PA = 1,1 x **CDP**	PA = Schwerkraft	–	**TDP**	–
Regelzellen unter Tauchdruck/Druckluft	2/F.5.2 7/D.2.2	PA = 1,1 x **CDP**	PR = PB	–	**TDP** 1,5 x PB	–
Regelzellen in Druckkörper/Pumpen	7/D.2.3	–	PA = Schwerkraft	–	–	Minimaldicke
Regelzellen in Druckkörper/Druckluft	7/D.2.3	–	PR = PB	–	1,5 x PB	–
Trimmzellen unter Tauchdruck/Pumpen	2/F.5.3 7/E.2.2	PA = 1,1 x **CDP**	PA = Schwerkraft	–	**TDP**	–
Trimmzellen unter Tauchdruck/Druckluft	2/F.5.3 7/E.2.2	PA = 1,1 x **CDP**	PR = PB	–	**TDP** 1,5 x PB	–
Trimmzellen in Druckkörper/Pumpen	2/F.5.3 7/E.2.3	–	PA = Schwerkraft	–	–	–
Trimmzellen in Druckkörper/Druckluft	2/F.5.3 7/E.2.3	–	PR = PB	–	1,5 x PB	–

Tabelle 4.2 Zusammenstellung der Drücke *(Fortsetzung)*

Elementgruppe / Element	Referenz: Abschnitt oder Anhang / A-Z/Nr.	Auslegung/Berechnung		Dichtheits-prüfdruck TTP	Prüfdruck PP	weitere Bedingungen
		Aussen-druck	Innen-druck			
Behälter und Apparate:						
unter Tauchdruck	2/F.6.3 4/B.3.1.2	PA = 1,1 x **CDP**	–	–	**TDP**	–
unter Tauchdruck/ Betriebsfestigkeit	4/B.3.1.3	PA = **NDP**	–	–	–	–
unter Innendruck	2/F.6.2 4/B.3.1.1	–	PR = PB	–	1,5 x PB	–
Rohrleitungssysteme, Pumpen und Verdichter:						
Systeme unter Tauchdruck	2/F.7.1.1 2/F.7.1.2 9/B.1.1	1,1 x **CDP**	PR = PB	PB	**TDP** 1,5 x PB	–
Systeme unter innerem Druck/Pumpen	2/F.7.1.1 2/F.7.2 9/B.1.1	–			1,5 x PB	–
Verdichter	2/F.7.2	–	PR = PB		1,5 x PB	Prüfdruck bezogen auf jede Stufe
Schlauchleitungen und Umbilicals/Kabel:						
Typprüfung für Flüssigkeiten	E/B.2.4 E/D.2.1	PA = 1,1 x **CDP**	PR = PB	PB	4 x PB	bei Aussendruck: PP = 1,5 Δp
Typprüfung für Gase					5 x PB	
Typprüfung für elektrische Leitungen	E/B.3.3	PA = 1,1 x **CDP**	–	–	2 x P_N (zyklisch)	–
Stückprüfung für elektrische Leitungen	E/D.3.2	–	–	–	1,5 x P_N (zyklisch)	–
Stückprüfung für metallische Schläuche	E/D.3.1	–	–	–	1,5 x PB	–
Stückprüfung für nichtmetallische Schläuche	E/D.3.1	–	–	–	2,0 x PB	–
Stückprüfung Umbilical vollständig montiert	E/D.3.1	–	–	PB mit Original-medien	**TDP**	–
Antriebe und elektrische Einrichtungen:						
Gehäuse unter Tauchdruck	2/F.8. 10/B.1.2 11/D.3.2	PA = 1,1 x **CDP**	–	–	Prüfdruck ohne rechnerischen Nachweis: **CDP**	
Elektrische Durchführungen + Steckverbindungen/Typprüfung	11/D.8.1 11/D.8.2	PA = 1,1 x **CDP**	–	mit Luft: 2x P_N mit Helium: 1,5 x P_N	Hydrostat. 2 x P_N (zyklisch)	–
Elektrische Durchführungen + Steckverbindungen/Stückprüfung	11/D.8.3	–	–	–	Hydrostat. 1,5 x P_N (zyklisch)	S_1 = **TDP/NDP** ≥ 1,5

Tabelle 4.2 Zusammenstellung der Drücke *(Fortsetzung)*

Elementgruppe / Element	Referenz: Abschnitt oder Anhang / A-Z/Nr.	Auslegung/Berechnung		Dichtheits-prüfdruck TTP	Prüfdruck PP	weitere Bedingungen
		Aussen-druck	Innen-druck			
Rettungssysteme:						
abkoppelbarer Rettungsbehälter	2/F.15. 15/B.5.2	PA = 1,1 x **CDP**	–	–	**TDP**	–
Markierungsboje	2/F.15. 15/B.6.1.1	PA = 1,1 x **CDP**	–	–	**TDP**	–

Abschnitt 5

Druckkörper

A. Allgemeines

1. Die folgenden Vorschriften gelten für Druckkörper von Unterwasserfahrzeugen, in denen sich die Fahrzeugbesatzung unter Atmosphärendruck aufhalten kann.

2. Die dem GL zur Genehmigung einzureichenden Unterlagen sind in Abschnitt 2, E. dargestellt.

3. Die erforderlichen Prüfungen und Kennzeichnungen sind Abschnitt 2, F. und G. zu entnehmen.

B. Werkstoffe

1. Allgemeines

1.1 Die Werkstoffe müssen für den vorgesehenen Verwendungszweck und das Verarbeitungsverfahren, z.B. Schweißen, geeignet sein. Grundsätzlich gelten die Anforderungen der GL-Vorschriften, II – Werkstoffe und Schweißtechnik, Teil 1 – Metallische Werkstoffe.

1.2 Darüber hinaus müssen die Werkstoffe den unter 3. genannten Sonderanforderungen entsprechen.

1.3 Sichtfenster, die Bestandteil des Druckkörpers sind, müssen aus Acrylglas hergestellt sein und den Anforderungen gemäß Anhang C entsprechen.

2. Zugelassene Werkstoffe

2.1 Für die Herstellung des Druckkörpers sind im Regelfall gewalzte oder geschmiedete Stähle und Stahlguss mit gewährleisteten Verformungs- und Zähigkeitseigenschaften gemäß Tabelle 5.2 zu verwenden.

Bleche, Form- und Stabstähle müssen feinkornbildende Elemente z.B. Al, Nb, V oder Ti gemäß GL-Vorschriften Stahl- und Eisenwerkstoffe (II-1-2) aufweisen und unter Einhaltung der Anforderungen in 3. hergestellt sein.

2.2 Andere als in 2.1 genannte Werkstoffe dürfen verwendet werden, wenn deren Eignung für den vorgesehenen Verwendungszweck nachgewiesen ist. Bestehen hierfür keine anerkannten Normen, sind dem GL entsprechende Spezifikationen zur Prüfung und Genehmigung einzureichen.

3. Sonderanforderungen an Werkstoffe für Druckkörper

3.1 Verformungsvermögen

Alle metallischen Werkstoffe müssen ein ausreichendes Verformungsvermögen (gemessen als Bruchdehnung im Zugversuch) aufweisen. Die Bruchdehnung (A) muss den in der Norm bzw. Werkstoffspezifikation genannten Werten entsprechen, bei Stählen mindestens aber 16 % betragen. Für Schrauben ist eine Bruchdehnung $A \geq 14$ % erforderlich.

3.2 Kerbschlagarbeit

Erzeugnisse aus Stahl müssen den in der Norm bzw. Werkstoffspezifikation genannten Werten für die Schlagarbeit im Kerbschlagbiegeversuch entsprechen. Darüber hinaus gilt:

- Bleche müssen eine Schlagarbeit von mindestens 30 J an ISO-V-Querproben aufweisen, wobei die Prüftemperatur in Abhängigkeit von der Blechdicke gemäß Tabelle 5.1. festzulegen ist.
- Rohre müssen eine Schlagarbeit von mindestens 27 J an ISO-V-Querproben bzw. 41 J an Längsproben bei 0 °C aufweisen.
- Stahlgussstücke müssen eine Schlagarbeit von mindestens 31 J an ISO-V-Proben bei 20 °C aufweisen.
- Schmiedestücke sowie Form- und Stabstähle, die lasttragend sind und direkt mit dem Druckkörper verschweißt werden, z.B. Stützringe, Versteifungen, müssen eine Schlagarbeit von mindestens 27 J an ISO-V-Längsproben bei einer Prüftemperatur von 0 °C aufweisen.
- Schrauben müssen eine Schlagarbeit von mindestens 52 J für vergütete Stähle bzw. ≥ 40 J für unlegierte Stähle an ISO-V-Proben bei einer Prüftemperatur von 20 °C aufweisen.

Table 5.1 Prüftemperaturen für Kerbschlagbiegeversuche

Blechdicke [mm]	Prüftemperatur [°C]
≤ 20	0
> 20 ≤ 40	-20
> 40 ≤ 60	-40
> 60	nach Vereinbarung

3.3 Zerstörungsfreie Prüfungen

3.3.1 Bleche über 8 mm Dicke müssen in Bezug auf ihre inneren Ungänzen mindestens die Anforderungen der Klasse 2, Tafel 1 der Stahl-Eisen-Lieferbedingungen (SEL) 072[1] oder S_2/E_3 der Norm EN 10160 oder vergleichbarer Normen erfüllen.

Zonen für Längs-, Rund- und Stutzennähte auf einer Breite gleich der Blechdicke jedoch mindestens 50 mm müssen die Anforderungen nach Klasse 1, Tafel 2 gemäß SEL 072 bzw. Qualitätsklasse E_3 nach EN 10160 erfüllen.

Bereiche für den Anschluss von Hebeösen, Außenstrukturbauteilen und andere Bleche, die auch in Dickenrichtung beansprucht werden können, müssen die Anforderungen nach Klasse 0, Tafel 1 gemäß SEL 072 bzw. Qualitätsklasse S_3 nach EN 10160 erfüllen.

3.3.2 Für Schmiedestücke größer DN 250 ist durch den Hersteller die Werkstoffbeschaffenheit mit Hilfe von geeigneten Prüfverfahren entsprechend den GL-Vorschriften, Stahl- und Eisenwerkstoffe (II-1-2), Abschnitt 3, G. zu prüfen. Die Zulässigkeitsgrenzen hierfür sind je nach Bauteilbeschaffenheit mit dem GL abzustimmen.

3.3.3 Der Hersteller muss dem GL den Nachweis über die zerstörungsfreien Prüfungen vorlegen.

4. Nachweis der Güteeigenschaften

4.1 Die Güteeigenschaften der Druckkörperwerkstoffe sind durch Bescheinigungen über Materialprüfungen entsprechend den GL-Vorschriften, Grundsätze und Prüfverfahren (II-1-1), Abschnitt 1, H. nachzuweisen. Die für das betreffende Erzeugnis erforderliche Art der Bescheinigung ist aus Tabelle 5.3 ersichtlich. Prüfstelle für Abnahmeprüfungen zur Ausstellung eines GL-Werkstoffzertifikats ist der GL, sofern nichts anderes festgelegt ist.

4.2 Für Erzeugnisse aus Stahl, für die in Tabelle 5.3 keine Angaben gemacht sind, ist die Art des Gütenachweises mit dem GL abzustimmen.

4.3 Für Kleinteile wie z.B. Halterungen für Konsolen, Schweißbutzen oder andere, nicht tragende und nicht druckbelastete Elemente sind Abnahmeprüfungszeugnisse des Herstellers nachzuweisen.

[1] Stahl-Eisen-Lieferbedingungen sind normenartige technische Lieferbedingungen für verschiedene Stahlgruppen, die vom Verein Deutscher Eisenhüttenleute (VDEh) herausgegeben werden.

C. Grundsätze für die Herstellung und Konstruktion

1. Verarbeitung

1.1 Die Verarbeitung der Werkstoffe muss fachgemäß erfolgen. Werkstoffe, die durch Warm- oder Kaltumformung in ihren Güteeigenschaften beeinträchtigt worden sind, müssen anschließend sachgemäß wärmebehandelt werden, vergl. hierzu die GL-Vorschriften, Stahl- und Eisenwerkstoffe (II-1-2), Abschnitt 6, A.

Bezüglich der Kriterien für die adäquate Arbeitsausführung siehe auch Abschnitt 1, H.

1.2 Werkstoffe und Bauteile müssen so gekennzeichnet sein, dass eine Identifizierung und Zuordnung zu den Prüfbescheinigungen auch während und nach der Fertigung des Druckkörpers möglich ist.

1.3 Bei der Herstellung und Bearbeitung von Acrylglasfenstern sind die Bestimmungen gemäß Anhang C zu berücksichtigen.

2. Schweißung

2.1 Zulassung

Betriebe, die Druckkörper von Unterwasserfahrzeugen fertigen wollen, müssen in Bezug auf ihre Einrichtung, das schweißtechnische Personal und die Schweißaufsicht vom GL zugelassen sein.

2.2 Verfahrensprüfungen

Vor Beginn der Schweißarbeiten müssen die Güteeigenschaften der zu schweißenden Verbindungen durch schweißtechnische Verfahrensprüfungen im Herstellerwerk dem GL nachgewiesen werden.

2.3 Stumpfnähte

Alle Stumpfnähte des Druckkörpers müssen als voll durchgeschweißte Mehrlagen-Schweißungen ausgeführt werden, wobei beidseitig zu schweißen ist. Sie sind ferner so auszuführen, dass eine Bewertung mit dem Schweißnahtfaktor $v = 1{,}0$ gemäß den GL-Vorschriften, II – Werkstoffe und Schweißtechnik, Teil 3 – Schweißen möglich ist.

2.4 Kehlnähte

Die Dimensionierung der Kehlnähte soll nach der GL-Vorschrift, Schiffskörper (I-1-1), Abschnitt 19, B. und C. erfolgen. Wenn kein detaillierter rechnerischer Nachweis erforderlich scheint, ist die Bemessung nach Tabelle 5.4 vorzunehmen.

Je nach Zugänglichkeit ist ein geeignetes Prüfverfahren anzuwenden und mit dem GL abzustimmen.

Tabelle 5.2 Zugelassene Werkstoffe für Druckkörper

Erzeugnisform	Werkstoffsorte	GL-Vorschriften, II – Werkstoffe und Schweißtechnik, Norm bzw. Spezifikation
Bleche	Normalgeglühte und vergütete Feinkornbaustähle und Druckbehälterstähle mit unter B.3. aufgeführten Eigenschaften	Teil 1, Kapitel 2, Abschnitt 1, B., D., E., F. EN 10028-3, -6
Böden	Normalgeglühte und vergütete Feinkornbaustähle und Druckbehälterstähle mit unter B.3. aufgeführten Eigenschaften	Teil 1, Kapitel 2, Abschnitt 6, A.
Form- und Stabstahl	Schiffbaustähle und Baustähle für allgemeine Verwendungszwecke, sofern diese beruhigt gegossen sind, sowie Feinkornbaustähle mit unter B.3. aufgeführten Eigenschaften	Teil 1, Kapitel 2, Abschnitt 1, B. und C., EN 10025-2, -3, -4, -6, EN 10028-3, -5, -6
Rohre	Nahtlose und geschweißte Rohre aus ferritischen Stählen mit unter 3. aufgeführten Eigenschaften	Für Wandstärke ≤ 20 mm: Teil 1, Kapitel 2, Abschnitt 2, B., 20 mm < Wandstärke ≤ 40 mm: Teil 1, Kapitel 2, Abschnitt 2, D.
Schmiedestücke	Schmiedestücke, Druckbehälter und Rohrleitungen mit unter B.3. aufgeführten Eigenschaften	Teil 1, Kapitel 2, Abschnitt 3, E.
Stahlgussstücke	Stahlguss, Druckbehälter und Rohrleitungen mit unter B.3. aufgeführten Eigenschaften	Teil 1, Kapitel 2, Abschnitt 4, D. und E. EN 10213
Schrauben und Muttern	Unlegierte oder legierte Stabstähle mit unter B.3. aufgeführten Eigenschaften	Teil 1, Kapitel 2, Abschnitt 6, C., ISO 898: Festigkeitsklasse 5.6, 8.8, ISO 3506-1 und -2
Sichtfenster	Acrylglas	Anhang C dieser Vorschrift

Tabelle 5.3 Nachweis der Güteeigenschaften

Erzeugnisform	Art der Bescheinigung [1]		
	A	B	C
Bleche für den Druckkörper	X	–	Für Druckkörperwerkstoffe nicht verwendbar
Form- und Stabstähle (lasttragende Elemente)	X	–	
Rohre und Stutzen > DN 50 ≤ DN 50	 X –	 – X	
Schmiedestücke, geschmiedete Flansche > DN 250 ≤ DN 250	 X –	 – X	
Stahlgussstücke	X	–	
Schrauben ≥ M30 ≥ M16 legierte und vergütete Stähle andere hier nicht aufgeführte Schrauben	 X X –	 – – X	
Muttern ≥ M30 Andere	 X –	 – X	
Acrylglas	X [2]	–	

[1] Prüfbescheinigungen sind entsprechend GL-Vorschriften II – Werkstoffe und Schweißtechnik, Teil 1 – Metallische Werkstoffe, Kapitel 1 – Grundsätze und Prüfverfahren, Abschnitt 1, H. auszustellen, dabei gilt:
A: GL-Werkstoffzertifikat, B: Abnahmeprüfzeugnis des Herstellers, C: Werkszeugnis des Herstellers

[2] Nachweis durch ein unabhängiges Fachinstitut kann anerkannt werden.

Tabelle 5.4 Nahtdicken für doppelseitige, durchlaufende Kehlnähte und K-Stegnähte

Bauteile in Abhängigkeit von der Belastung	Nahtdicke a / t_{min}
Druckkörper (DK):	
- Spantsteg mit DK	0,35
- Spantsteg mit Gurt	0,35
- Rahmenspant mit DK	0,50
- Schott (Ausnahme druckfestes Schott) mit DK-Außenspant	0,50
- Schott (Ausnahme druckfestes Schott) mit DK-Spantgurt	0,35
- Deck mit DK-Haut	0,40
- druckfestes Schott mit DK-Haut	1
Druckfestes Schott:	
- Steifen auf Schott	0,50
- Steifengurt mit Steg	0,50
- Durchführungen im Schott	0,50
- Stützdeck mit Schott	0,50
Regelzelle:	
- Anschluss an der Hauptstruktur	0,50
Wände/Decks/Schotte von Bunkern, Tanks, Zellen:	
- Beplattung miteinander	0,40
- Beplattung mit DK-Haut	0,40
- Steifen mit Beplattung	0,25
- Träger mit Beplattung	0,30
Außenstruktur:	
- Beplattung miteinander	0,35
- Spanten mit Außenhaut	0,25
- Rahmenspanten	0,30
- Schotte	0,30
- Spantanschluss an der DK-Haut	0,40
- Beplattung an der DK-Haut	0,35
- Kielplatten mit Stegen	0,50
- Kniebleche	0,45
Fundamente:	
- Längs- und Querträger	0,50
- Steifen und Kniebleche	0,40
Decks und Wände:	
- Beplattung miteinander	0,30
- Beplattung mit der DK-Haut	0,30
- Steifen mit Beplattung	0,15

t_{min} = kleinere der zu verbindenden Blechdicken

Zug- und biegebelastete Kreuzstöße sind mit a/t = 0,7 anzuschließen.

1 $a = \sqrt{t_{min}} - 0,5\ [mm]$

t_{max} = größere der zu verbindenden Blechdicken

3. Ausschnitte und Sichtöffnungen

3.1 Ausschnitte, die eine Schwächung der Druckkörperwand hervorrufen, sind ausreichend zu verstärken, (siehe Anhang A, F.7.). Die Verstärkung muss integraler Bestandteil des Druckkörpers oder Stutzens sein. Aufgesetzte Verstärkungsscheiben sind nicht zulässig.

Öffnungen und Ausschnitte z.B. für Rohr-, Kabel- und Gestängedurchführungen in Schotten und Rahmenspanten sind mit einem Radius entsprechend ihrer Belastung auszurunden und in der Regel auszugurten.

3.2 Bei der Auslegung und Konstruktion von Sichtöffnungsflanschen ist zu berücksichtigen, dass die Acrylglasfenster keinen Beitrag zur Ausschnittsverstärkung der Druckkörperwand leisten. Für Flanschen von Sichtöffnungen mit einem lichten Durchmesser von mehr als 350 mm sind erhöhte Anforderungen hinsichtlich der zulässigen radialen Verformung und der Winkelabweichung der Fensterauflagefläche einzuhalten, die im Einzelfall mit dem GL abzustimmen sind.

3.3 Die Fensterauflagefläche im Flansch der Sichtöffnung ist so zu bemessen, dass das Fenster bei maximalem Betriebsdruck ausreichend gestützt wird. Die Sitzabmessungen für verschiedene Standardfenster sind Anhang C zu entnehmen.

3.4 Für Flachfenster mit rechtwinkligem Rand und O-Ring-Dichtung soll der Durchmesser der Auflagefläche im Sichtöffnungsflansch innerhalb + 0,25/- 0,00 mm des Nennwertes liegen; bei Verwendung einer Flachdichtung innerhalb + 0,75/- 0,00 mm.

3.5 Bei Kugelschalenfenstern mit konischem Sitz soll der größere Durchmesser der konischen Auflagefläche im Sichtöffnungsflansch innerhalb + 0,002 D_o/- 0,000 mm des Nennwertes liegen.

Der einbeschriebene konische Winkel der Fensterauflagefläche im Sichtöffnungsflansch soll innerhalb + 0,000/- 0,25 Grad des Nennwertes liegen.

3.6 Die Oberflächenrauhigkeit der Fensterauflagefläche darf 1,5 µm nicht überschreiten.

3.7 Die Fensterauflagefläche muss dauerhaft gegen Korrosion geschützt sein (z.B. durch Auftragsschweißung mit korrosionsbeständigen Schweißzusätzen).

3.8 Als Primärdichtung für Standardfenster gemäß Anhang C, Tabellen C.2 bis C.4 kann eine Weichstoffdichtung verwendet werden. Die Dichtung muss ausreichende Dicke aufweisen, um eine angemessene Verformung aufnehmen zu können, ohne dass ein bleibendes Setzen eintritt.

3.9 Für Flachfenster mit rechtwinkligem Rand ist eine Sekundärdichtung erforderlich, die üblicherweise mit Kontaktkleber auf die Fensterauflagefläche im Flansch geklebt wird. Diese Dichtung dient auch als tragende Dichtung für das Fenster und darf 3 mm Dicke nicht überschreiten.

3.10 Dichtungsnuten dürfen nicht in der Fenstertragfläche oder der Sitzfläche im Metallflansch liegen.

3.11 Halteringe müssen die erforderlichen Vorverformungen der Fensterdichtungen aufbringen können.

3.12 Beim Einbau von Acrylglasfenstern ist auf sorgfältige Reinigung aller Sitzflächen zu achten. Bei der Verwendung von Reinigungsmitteln, Fenstersitzfetten oder Klebemitteln für die Fensterdichtungen ist vor Anwendung deren Verträglichkeit mit Acrylglas zu überprüfen.

4. Böden

Krempen gewölbter Böden dürfen nicht durch Einspannungen irgendwelcher Art, z.B. Haltebleche, Versteifungen, usw., in ihrer Bewegung unzulässig behindert werden.

5. Stutzenrohre und Flansche

5.1 Die Wanddicke von Stutzenrohren muss so bemessen werden, dass zusätzliche äußere Beanspruchungen sicher aufgenommen werden können. Die Wanddicke eingeschweißter Stutzen soll der Wanddicke des Teils, in das sie eingeschweißt werden, angemessen sein. Die Stutzenrohre und Flansche sind volltragend einzuschweißen.

5.2 Für den Anschluss von Rohrleitungen sind Rohrverbindungen gemäß Maschinenanlagen (I-1-2), Abschnitt 11 vorzusehen.

6. Druckkörperdurchführungen

6.1 Luken, Türen, Durchstiege

6.1.1 Unterwasserfahrzeuge sind im Allgemeinen mit einer von beiden Seiten von einer Person bedienbaren Ein- und Ausstiegsluke auszurüsten. Der Ein-/Ausstieg ist so auszuführen, dass ein sicheres Begehen und Verlassen des Unterwasserfahrzeugs möglich ist, ohne dass Wasser in das Fahrzeuginnere eindringt. Die Lukendeckel sollen nach außen öffnen und müssen in offener Stellung gesichert werden können.

6.1.2 Ein- und Ausstiegsluken sind mit einem Schließmechanismus zu versehen, der es ermöglicht, auch an der Oberfläche eine ausreichende Anpresskraft auf die Lukendichtung herbeizuführen. Der Schließmechanismus ist ferner so zu gestalten, dass ein Öffnen der Luke nur nach erfolgtem Druckausgleich möglich ist, siehe auch Abschnitt 13, F.

Zwei Maßnahmen sind vorzusehen, um sicherzustellen, dass die Luken vor dem Tauchen geschlossen und gesichert sind, davon muss eine Maßnahme visuell erkennbar sein.

6.1.3 Es sind Vorrichtungen vorzusehen, dass Türen von beiden Seiten geöffnet werden können. Ein Zuschlagen von Türen und Luken ist durch geeignete mechanische Maßnahmen sicher zu verhindern.

Türen an Schächten und Schleusen sind mit Druckausgleichventilen zu versehen.

6.1.4 Türen und Durchstiege für Personen sollen mindestens eine lichte Weite von 500 mm haben, Taucherein- und -ausstiege mindestens 600 mm.

6.2 Durchführungen für Versorgungsleitungen

Durchführungen durch Druckkörperwände für Umbilicals/Versorgungsleitungen und andere Rohrleitungen, Schläuche und Kabel sind, soweit möglich, durch Druckkörperanbauten oder -verkleidungen gegen mechanische Beschädigungen zu schützen.

6.3 Propellerwellen

Bei der Durchführung von Propellerwellen von der Außenstruktur in den Druckkörper ist zu vermeiden, dass elastische Deformationen und Vibrationen in den Druckkörper übertragen werden.

6.4 Auslegung

Die Auslegung aller Druckkörperdurchführungen und Luken entsprechend 6.1 bis 6.3 hat auf mindestens 1,1-fachen Zerstörungstauchdruck **CDP** zu erfolgen.

Zusätzlich hat die Auslegung auf einen Innendruck von 1,3 bar absolut zu erfolgen.

7. Druckfeste Schotte

Druckfeste Schotte zur Unterteilung des Innenraums sind für den Zerstörungsdruck **CDP** auszulegen. Türen in diesen Schotten sind entsprechend 6.4 auszulegen.

8. Andockeinrichtungen

8.1 Werden an Unterwasserfahrzeugen mit Taucherausstieg Einrichtungen zum Andocken an eine Deck-Dekompressionskammer (Druckkammer) vorgesehen, gelten für diese Vorrichtungen die Anforderungen gemäß Tauchanlagen und Tauchsimulatoren (I-5-1), Abschnitt 2, Q.

8.2 Werden Unterwasserfahrzeuge mit Einrichtungen zum Transfer von Personen unter Atmosphärendruck ausgerüstet, sind die Auslegungs- und Konstruktionsbedingungen für die Andockvorrichtungen mit dem GL abzustimmen.

D. Berechnung

1. Allgemeines

1.1 Druckkörper, Luken, Fenster, Aufhängungen, usw. sind nach den einschlägigen Vorschriften des GL oder anderen gleichwertigen Regeln der Technik zu berechnen.

Druckkörper und Druckbehälter unter äußerem Überdruck können nach Anhang A – Fenster nach Anhang C – berechnet werden.

1.2 Die Berechnungen, die der Konstruktion zugrunde liegen, sind dem GL vorzulegen. Sollen die Berechnungen mit Hilfe von Computern durchgeführt werden, ist die Eignung der Programme dem GL nachzuweisen.

1.3 Es sind die Beanspruchungen aus den Lastfällen I bis III gemäß Abschnitt 4, E. zu ermitteln.

Vernachlässigbar

1.4 Wertigkeit der Schweißnähte siehe C.2.3.

1.5 Der Zuschlag für Korrosion und Abnutzung beträgt im allgemeinen c = 1 mm. Er kann entfallen bei einer Blechdicke von ≥ 30 mm, bei nichtrostenden Stählen oder anderen korrosionsbeständigen Werkstoffen sowie bei besonderen Korrosionsschutzmaßnahmen.

1.6 Die Wanddicke von Mänteln und Böden nahtloser oder geschweißter Druckkörper soll im Allgemeinen 6 mm nicht unterschreiten.

2. Berechnungskriterien für den Druckkörper

Bei der Berechnung von Bauteilen unter äußerem Überdruck sind folgende Kriterien zugrunde zulegen:

- Zug-, Druck- und Biegespannungen dürfen bei Nenn- und Prüftauchdruck die in 3. genannten zulässigen Werte nicht überschreiten.
- Stabilitätskritische Bauteile müssen bei Zerstörungstauchdruck **CDP** gegen Knicken, Beulen und Kippen unter Berücksichtigung der in 4. genannten Sicherheiten ausgelegt sein. Bei zylindrischen Schalen muss die Beulsicherheit der asymmetrischen und der symmetrischen Beulform nachgewiesen werden.
- Es sind die stabilitätskritischen Versagensmöglichkeiten und das plastische Versagen zu untersuchen. Die Reduzierung des E-Moduls zwischen der Proportionalitätsgrenze und der Streckgrenze bzw. der 0,2 %-Dehngrenze ist zu berücksichtigen. Im Allgemeinen ist elastisch-plastisches Werkstoffverhalten (z.B. wie in DIN 4114, Blatt 2 festgelegt) ohne Verfestigung anzunehmen. Wurde die Druckspannungs-Stauchungs-Kurve des Werkstoffes im Beisein des GL ermittelt, so kann diese der Berechnung zugrunde gelegt werden.

– Das in Abschnitt 4, Tabelle 4.1 definierte Zerstörungsdruck/Nenntauchdruck-Verhältnis darf nicht unterschritten werden.

3. Zulässige Spannungen

Für den Nenntauchdruck gilt:

$$\sigma_{zul,NDP} = \min\left\{\frac{R_{m,20°}}{A}; \frac{R_{eH,t}}{B}\right\}$$

Für den Prüftauchdruck gilt:

$$\sigma_{zul,TDP} = \min\left\{\frac{R_{m,20°}}{A'}; \frac{R_{eH,t}}{B'}\right\}$$

Für den Zerstörungstauchdruck gilt:

$$\sigma_{zul,CDP} = \min\left\{\frac{R_{m,20°}}{A''}; \frac{R_{eH,t}}{B''}\right\}$$

$R_{m,20°}$ = gewährleistete Mindestzugfestigkeit [N/mm²] bei Raumtemperatur (kann bei bewährten Feinkornstählen mit $R_{eH} \leq 360$ N/mm² oder bei Druckbeanspruchung durch äußeren Überdruck entfallen)

$R_{eH,t}$ = gewährleistete Streckgrenze oder Mindestwert der 0,2 %-Dehngrenze bei Berechnungstemperatur

Die Sicherheitsbeiwerte A, A', A" bzw. B, B', B" sind Tabelle 5.5 zu entnehmen.

4. Sicherheitsbeiwerte gegen Beulen und Kippen

Zylindrische und kugelförmige Schalen sind bei Zerstörungstauchdruck gegen elastisch-plastisches Einbeulen unter Berücksichtigung der Fertigungseinflüsse auszulegen. Die entsprechenden Abminderungsfaktoren sind für Stähle in Anhang A, F.2.5, F.3.3, F.6.6 festgelegt.

Für Spanten ist ein Nachweis der Stabilität gegen Kippen auf der Grundlage einer Spannungsberechnung zu führen, die das Gleichgewicht im verformten Zustand erfüllt. Die entsprechenden Spannungsgrenzwerte sind im Anhang A, F.4.2, F.5.1, F.5.3 und F.5.4. definiert.

5. Berücksichtigung von Fertigungstoleranzen

5.1 Bei der Berechnung von Druckkörpern sind die Abweichungen von der idealen Form z.B. hinsichtlich der Rundheit der Schalenformen oder der Lage der Versteifungsringe zu berücksichtigen, siehe Anhang B.

5.2 Werden die der Berechnung zugrunde gelegten Fertigungstoleranzen entsprechend Anhang B überschritten, ist eine rechnerische Überprüfung des maximal zulässigen Drucks unter Berücksichtigung der ermittelten Abweichungen erforderlich.

E. Festigkeitsnachweise mit numerischen Methoden

1. Für Bereiche, für die ein numerischer Spannungsnachweis erforderlich ist (siehe Anhang A), muss auch die Grenztragfähigkeit numerisch nachgewiesen werden. Im Allgemeinen wird das gleiche Rechenmodell dafür verwendet werden können. Sollte in Ausnahmefällen für nach außen gewölbte Endböden ein numerischer Nachweis erforderlich sein, so ist der kritische Bereich mit den aktuell gemessenen oder mit den maximal zulässigen Krümmungsradien zu modellieren.

2. Die Berechnung hat die Verformungen im Gleichgewicht und das elastisch-plastische Verhalten des Werkstoffs, wie in F.3. von Anhang A definiert, zu berücksichtigen.

3. Die Eignung des Verfahrens und die Wahl des Elementtyps sind mit einem Berechnungsmodell zu demonstrieren, das die Versagensdrücke für symmetrische und asymmetrische Beulung im Bereich des gleichmäßig ausgesteiften Zylinders ermittelt. Die numerisch ermittelten Werte sollten 2 bis 4 % niedriger sein als die analytisch ermittelten Werte entsprechend F.2. und F.3. von Anhang A.

4. Der numerisch ermittelte Versagensdruck für zylindrische und kegelförmige Druckkörper soll in Bereichen für die eine numerische Berechnung ausgeführt wurde, einen Sicherheitsbeiwert von 1,07 bezogen auf den Zerstörungstauchdruck **CDP** aufweisen.. Für Kugelschalen ist der Sicherheitsbeiwert gesondert mit dem GL zu vereinbaren.

Tabelle 5.5 Sicherheitsbeiwerte

Werkstoff	Nenntauchdruck NDP		Prüftauchdruck TDP		Zerstörungstauchdruck CDP	
	A	B	A'	B'	A''	B''
Ferritische Werkstoffe	2,7	1,7	–	1,1	–	1,0
Austenitische Werkstoffe	2,7	1,7	–	1,1	–	1,0
Titan	2,7	1,7	–	1,1	–	1,0

F. Kriechfestigkeit

Für Druckkörper, welche aus kriechenden Werkstoffen hergestellt sind, ist durch Modellversuche oder Berechnungen nachzuweisen, dass der Druckkörper für die Dauer von 10^4 Minuten 80 % des Zerstörungstauchdrucks aushalten kann. Die Führung eines derartigen Nachweises ist mit dem GL abzustimmen.

G. Ausrüstung und Inneneinrichtung

1. Inneneinrichtungen im Druckkörper

1.1 Für Ausrüstungen, Einrichtungen, Isolierungen, Farb- und Konservierungsanstriche im Innern von Druckkörpern dürfen nur solche Werkstoffe und Materialien verwendet werden, die unter den in Abschnitt 2, D. genannten Klimabedingungen keine toxischen oder stark reizenden Ausgasungen aufweisen. Dies gilt, soweit möglich, auch unter Wärmeeinwirkung.

Sollte durch spezielle Einsätze und Anforderungen mit in dieser Vorschrift nicht erwähnten Gasen zu rechnen sein, sind diese im Spezialfall zu überwachen.

1.2 Im Druckkörper sollen, soweit möglich, nur nichtbrennbare bzw. mindestens schwerentflammbare Werkstoffe und Materialien eingesetzt werden.

1.3 Batterieräume sind so zu bemessen, dass sie die erforderlichen Einrichtungen zur Lüftung, Spülung, Säuremessung und Kühlung aufnehmen können.

1.4 Innerhalb des Druckkörpers angeordnete Zellen, Bunker und Tanks sind entsprechend ihrer Funktion auszulegen und jeweils mit einer ausreichenden Entlüftung und Entwässerung zu versehen. In allen Zellen, Bunkern und Tanks sind Mannlöcher vorzusehen.

2. Raumaufteilung

Der Aufenthaltsbereich der Besatzung ist vom Aufstellungsbereich von Maschinen und Aggregaten, soweit möglich, abzutrennen und gegen Schall- und Wärmeeinwirkungen zu isolieren.

3. Ausrüstung

3.1 Für jedes Besatzungsmitglied ist mindestens eine Sitzgelegenheit vorzusehen.

3.2 In unabhängigen Unterwasserfahrzeugen und solchen, die für Einsatzzeiten von mehr als 12 h ausgelegt sind, ist im Druckkörper ein entsprechender Wohnbereich mit Schlafgelegenheiten und separaten Sanitäreinrichtungen vorzusehen.

4. Beleuchtung

Jedes Druckkörperabteil ist ausreichend zu beleuchten, siehe Abschnitt 11, E.2.

5. Fenster für den Druckkörper

5.1 Die Anforderungen an die einzusetzenden Acylglasfenster sind im Anhang C definiert.

5.2 Sichtfenster sind, soweit erforderlich, von innen und außen gegen mechanische Beschädigungen zu schützen.

6. Sonstiges

6.1 Druckkörper sind ausreichend mit Augplatten, Schweißbutzen o.ä. zur Aufnahme von Halterungen zu versehen.

6.2 Dichtungssysteme für Lukendeckel sind vom GL zu genehmigen. Druckkörperdurchführungen von Wellen sind mit einer doppelten Dichtung zu versehen.

Abschnitt 6

Außenstruktur und Ausrüstung

A. Allgemeines

1. Die folgenden Vorschriften gelten für die gesamte frei durchflutete Außenstruktur des Unterwasserfahrzeugs wie Verkleidungen, Tragestruktur und Druckkörperanbauten sowie für die Ausrüstung im Bereich der Außenstruktur.

2. Die dem GL zur Genehmigung einzureichenden Unterlagen sind in Abschnitt 2, E. dargestellt.

3. Die erforderlichen Prüfungen und Kennzeichnungen sind Abschnitt 2, F. und G. zu entnehmen.

B. Grundsätze für den Entwurf der Außenstruktur

1. Berechnung

Für die Berechnung von Komponenten der Außenstruktur sind anerkannte Berechnungsverfahren anzuwenden. Die Bemessung der Außenstruktur soll dabei so erfolgen, dass bei den für den normalen Betrieb zu erwartenden Belastungen die rechnerische Spannung nicht größer ist als 0,6 × Fließspannung.

Durch die Art der Ausführung der Außenstruktur und mit den entsprechenden Öffnungen ist sicherzustellen, dass Konstruktionselemente welche nicht druckfest sind, keine merkbaren Belastungen aus dem Tauchdruck erhalten und nach den Vorbereitungen für den Tauchgang keine Luftblasen in der Außenstruktur verbleiben.

Die äußeren Lasten, die auf die Außenstruktur wirken können und die gegebenenfalls bei der Berechnung zu berücksichtigen sind, sind in Abschnitt 4, C. zusammengestellt

2. Werkstoffe

2.1 Werkstoffe müssen für den vorgesehenen Verwendungszweck und das Verarbeitungsverfahren geeignet und vom GL zugelassen sein.

Die Materialien für die Außenstruktur sollen mit den Materialien für den Druckkörper verträglich sein, jedoch können die Festigkeitsparameter verschieden sein. Wenn die elektro-mechanischen Eigenschaften der Materialien verschieden sind, kann entsprechender Korrosionsschutz erforderlich werden.

2.2 Für die Herstellung, Verarbeitung und Prüfung von stählernen Werkstoffen gelten die GL-Vorschriften II - Werkstoffe und Schweißtechnik.

2.3 Hinsichtlich der Herstellung und Verarbeitung von FVK-Werkstoffen ist Anhang D dieser Vorschrift zu berücksichtigen.

2.4 Alle anderen Werkstoffe sind nach anerkannten Normen bzw. nach den vom GL geprüften und genehmigten Spezifikationen des Werkstoffherstellers herzustellen und zu verarbeiten.

2.5 Werkstoffe für feste Auftriebskörper müssen für die vorgesehenen Druck- und Temperaturbereiche geeignet sein, einen niedrigen Absorptionswert haben und dürfen unter Druck nicht nennenswert zusammengedrückt werden.

2.6 Die Güteeigenschaften der Werkstoffe sind in geeigneter Weise nachzuweisen, z.B. durch ein Abnahmeprüfzeugnis des Herstellers, vgl. Tabelle 5.3.

3. Form der Außenstruktur

3.1 Wenn das Unterwasserfahrzeug nennenswerte Geschwindigkeit erreichen soll, ist die Außenstruktur mit stromlinienförmiger und glatter Oberfläche zu versehen. Stufenförmige Verbindungen von Strukturelementen sollen ausgeglichen werden wenn die Strömung negativ beeinflusst wird.

3.2 Die Außenstruktur eines Unterwasserfahrzeugs ist so zu gestalten, dass Teile davon eingedrückt werden können, ohne dass der Druckkörper beschädigt wird. Ferner muss ein Verhaken des Fahrzeugs durch Teile der Außenstruktur weitgehend ausgeschlossen werden können. Anker sind so anzuordnen, dass sie in ihrer Stauposition plan mit der Außenstruktur abschließen.

3.3 Die Außenstruktur ist durch Quer- und Längsrahmen und soweit notwendig durch Rahmenspanten, Mittel- und Seitenstringer usw. entsprechend den Entwurfs- und Festigkeitsanforderungen auszusteifen und zu unterstützen.

3.4 Die Außenhaut ist im Bereich von Tauch- und Ballasttanks zu verstärken. Im Bereich der Tanks sind Schraubverbindungen von Außenhautelementen nicht gestattet.

4. Turm

Wenn ein Turm vorgesehen ist, um einen Einstieg in den Druckkörper auch bei höherem Seegang zu ermöglichen und/oder um die Lagerung von Periskopen und Masten für Elektronik und Lichterführung sicherzustellen, sind zusätzliche Kräfte durch die Außenstruktur aufzunehmen. Die unterstützenden Elemente seiner Struktur sind in einer Linie mit Rahmenspanten, Spanten und gegebenenfalls mit Schotten des Druckkörpers anzuordnen. Außerhalb des druckfesten Zugangsrohrs ist gute Zugänglichkeit der Außenstruktur zu ermöglichen.

5. Kiel

Wenn ein Kiel vorgesehen ist, ist er zur Aufnahme von festem Ballast und zur Übertragung der beim Docken des Unterwasserfahrzeugs entstehenden Kräfte auszulegen.

6. Stützen und Kufen

Unterwasserfahrzeuge mit Taucherausstieg sind mit Stützen oder Kufen auszurüsten, die einen ausreichenden Freiraum zwischen dem Untergrund und dem Unterwasserfahrzeug gewährleisten.

7. Rammbügel

Soweit erforderlich, sind Unterwasserfahrzeuge mit Rammbügeln oder Ähnlichem zum Schutz des Druckkörpers sowie der Anbauteile und Arbeitsgeräte auszurüsten.

8. Durchflutung und Entlüftung

Alle frei durchflutbaren Bereiche von Unterwasserfahrzeugen sind so zu gestalten und mit Öffnungen zu versehen, dass ein vollständiges Fluten und Entlüften der Räume gewährleistet ist und sich keine merkbaren Belastungen aus dem Tauchdruck aufbauen.

9. Anbauten an den Druckkörper

Beim Anschweißen von Anbauten an den Druckkörper, wie Halterungen für Tauchzellen, Arbeitsgeräte, Stabilisierungsflossen, Ruder u.ä. ist darauf zu achten, dass die dadurch erzeugten Eigenspannungen im Druckkörper möglichst klein bleiben. Die Überwachungs- und Konservierungsmöglichkeit des Druckkörpers muss auch im Bereich von Anbauten sichergestellt sein.

10. Auftriebsmaterial

Außen am Fahrzeug angebrachtes Auftriebsmaterial ist ausreichend zu sichern und zu schützen.

11. Anschlagpunkte

Unterwasserfahrzeuge, die von Versorgungsschiffen aus betrieben werden, sind mit Anschlagpunkten zu versehen, an denen das Fahrzeug an Bord gehoben werden kann. Der Anschlagpunkt am Unterwasserfahrzeug ist so zu konstruieren und anzuordnen, dass das Ausbringen und Bergen des Fahrzeugs bei maximal zulässigen Seegangsbedingungen möglich ist.

Ferner sind die Unterwasserfahrzeuge mit alternativen Anschlagpunkten auszurüsten, an denen im Notfall Hebevorrichtungen zur Bergung des Fahrzeugs befestigt werden können. Diese alternativen Anschlagpunkte sind so auszulegen und anzuordnen, dass das Unterwasserfahrzeug auch bei geflutetem Innenraum an die Wasseroberfläche gebracht werden kann.

Die Anschlagpunkte müssen, bezogen auf die Nutzlast, eine 8-fache Sicherheit gegen Bruch aufweisen, deutlich gekennzeichnet und mit ihrer Nutzlast markiert sein.

12. Schlepppunkt

Ein Element zum Anbringen von Schleppleinen ist am Unterwasserfahrzeug vorzusehen. Dieser Schlepppunkt ist so auszulegen und anzuordnen, dass das Unterwasserfahrzeug auch unter den ungünstigsten Betriebsbedingungen aufgetaucht mit der geplanten maximalen Schleppgeschwindigkeit geschleppt werden kann und der Einstieg nicht überflutet wird.

13. Oberdeck

13.1 Die Außenstruktur und insbesondere das Oberdeck von Unterwasserfahrzeugen ist so zu gestalten und gegebenenfalls mit Grätings auszurüsten, dass ein sicheres Betreten des Fahrzeugs möglich ist.

13.2 Alle Klappen im Oberdeck sollen eben im Oberdeck gelegen und gegen Vibrationen gesichert sein.

13.3 Das Oberdeck hat alle Geräte und Einrichtungen die sich im freien Raum darunter befinden, wie Rettungsausrüstungen, Bootmannsausrüstungen (Fender, Seile usw.), zu schützen.

13.4 Festmacheeinrichtungen wie Poller, Klampen, Klüsen, Anschlag- und Schlepppunkte, Fender, Ruder, Antriebsaggregate und andere Teile der Außenstruktur und der Ausrüstung müssen so gestaltet sein, dass die Gefahr des Verhakens an Netzen, Markierungs- und Ankerleinen usw. weitestgehend vermieden wird. Außerdem soll die Strömung am Unterwasserfahrzeug nicht behindert werden.

C. Ausrüstung

Entsprechend dem Einsatzgebiet und Einsatzzweck des Unterwasserfahrzeugs sind die erforderlichen Elemente der schiffbaulichen Ausrüstung vorzusehen:

1. Ankereinrichtung

Unabhängige Unterwasserfahrzeuge sind entsprechend ihrem Fahrbereich mit geeigneten Ankern einschließlich der erforderlichen Einrichtungen zum Ausbringen und Einholen der Anker auszurüsten. Das Ankerge-

schirr soll in Notfällen abwerfbar sein.

Bezüglich der Ankergröße und -beschaffenheit siehe Schiffskörper (I-1-1), Abschnitt 18, A.-E.

Anker, Ankerketten/-trossen sowie auch die Festmachetrossen/-seile sind gemäß den GL-Vorschriften II – Werkstoffe und Schweißtechnik, Teil 1 – Metallische Werkstoffe, Kapitel 4 – Ausrüstungsteile herzustellen und zu prüfen.

2. Verholeinrichtung

Unterwasserfahrzeuge sind mit Pollern, Klampen oder Ähnlichem auszurüsten, um ein Vertäuen des Fahrzeugs zu ermöglichen. Die Anordnung sollte so gewählt werden, dass die Umströmung bei Unterwasserfahrt möglichst wenig gestört wird.

Bezüglich der Anzahl und Dimension der Verholtrossen siehe Schiffskörper (I-1-1), Abschnitt 18, F.

3. Reling

3.1 In Abhängigkeit von der Größe, der Form und der Zugänglichkeit des Oberdecks kann es sicherheitsrelevant sein, insbesondere für Arbeiten im Hafen oder bei Vorbereitung eines Tauchvorgangs eine Reling am Oberdeck vorzusehen. Wenn das Oberdeck abgerundet ist, sind die Stützen der Reling am flachen Teil des Decks anzubringen.

3.2 Die Höhe hat mindestens 1,0 m vom Deck zu betragen. Die Höhe unterhalb des niedrigsten Durchzugs soll nicht mehr als 230 mm betragen. Die anderen Durchzüge sollen nicht mehr als 380 mm auseinander sein. Die Reling ist entsprechend DIN 81702 auszuführen, gleichwertige Konstruktionen können vom GL anerkannt werden.

3.3 Wenn die Reling bei der Tauchfahrt stört, ist sie umklappbar oder zum Zurückziehen auszuführen.

3.4 Als Alternative oder als Ergänzung kann es empfehlenswert sein, an Oberdeck einen Drahtstander, eine Schiene oder einen Schlitz vorzusehen, wo Besatzungsmitglieder bei Arbeiten am Deck ihren Rettungsgurt einhängen können.

4. Ausfahrbare Masten

4.1 Masten für Signalzwecke, Radar- und Sensoranlagen bzw. Luftrohre sind normalerweise bei Tauchfahrt in der Außenstruktur eingezogen oder umgeklappt und müssen für Überwasserfahrt ausgefahren/ausgeklappt werden. Die erforderliche Höhe und der Umfang der anzubringenden Geräte sind im Einzelfall mit dem GL zu vereinbaren.

4.2 Bei Benützung des Mastes bei Überwasserfahrt sind folgende Belastungen zu berücksichtigen:

– Windkräfte entsprechend Abschnitt 4, C.1.
– Beschleunigungen durch Fahrzeugbewegungen entsprechend Abschnitt 4, C.6.

4.3 Der Strömungswiderstand des Mastteils im Wasser außerhalb der Außenstruktur kann entsprechend den GL-Vorschriften Structural Design (IV-6-4), Section 2, B.3. and B.4. berücksichtigt werden.

4.4 Für das verwendete Material ist im Allgemeinen die Begrenzung der Durchbiegung das entscheidende Kriterium, um eine einwandfreie und präzise Funktion der Geräte zu gewährleisten.

4.5 Wenn die Lager des ausfahrbaren Masts wassergeschmiert sind, so dürfen nur Materialien, welche vollständig gegenüber Seewasser korrosionsfest sind, eingesetzt werden.

4.6 Für den Hubmechanismus siehe die GL-Richtlinien für die Ausführung und Prüfung von Hebezeugen (VI-2-2).

5. Umbilicals

5.1 Umbilcals können als Verbindungsglied zwischen Versorgungsschiff und Unterwasserfahrzeug Überwachungs- und Kommunikationskabel, Hydraulik- und Pneumatikleitungen, sowie Energieversorgungsleitungen und ein Tragseil innerhalb einer gemeinsamen Ummantelung enthalten.

5.2 Der Umbilicalanschluss am Unterwasserfahrzeug muss so ausgelegt sein, dass er die maximal zulässige Zugbelastung des Umbilicals in die Außenstruktur einleitet.

5.3 Alle Aspekte der Auslegung von Umbilicals werden in Anhang E definiert.

6. Sonstige Ausrüstung (Arbeitsgeräte)

Die sonstige Ausrüstung von Unterwasserfahrzeugen, z.B. mit Manipulatoren, TV-Einrichtungen, Scheinwerfern, Werkzeugen und Arbeitsgeräten richtet sich nach der Art des Unterwasserfahrzeugs, dem vorgesehenen Einsatzzweck und ist im Einzelfall mit dem GL abzustimmen. Anforderungen an Arbeitsgeräte sind in Unterwasserarbeitsgeräte (I-5-3), Abschnitt 5 definiert.

7. Abwerfen von Ausrüstung

7.1 Manipulatoren, Greifer, Anker und andere Ausrüstungsteile, die das Unterwasserfahrzeug gegebenenfalls unter Wasser auf Position halten, sind so zu gestalten, dass sie im Notfall gelöst oder abgeworfen werden können. Schleppleinen sind abwerfbar zu gestalten.

7.2 Abwerfeinrichtungen müssen auch bei Ausfall der Hauptenergiequelle noch zu betätigen sein. Sie

sind ferner so zu gestalten, dass ein unbeabsichtigtes Auslösen bzw. Abwerfen ausgeschlossen werden kann. Durch das Abwerfen dürfen keine unzulässigen Krängungs- und Trimmzustände eintreten.

D. Korrosionsschutz

1. Schutz außen

1.1 Die Außenstruktur und die Ausrüstung sowie alle dazugehörigen Komponenten sind wirksam gegen Korrosion zu schützen. Hierbei sind die grundsätzlichen Anforderungen der GL-Vorschrift, Richtlinien für Korrosionsschutz und Beschichtungssysteme (VI-10-2) zu beachten.

1.2 Stellen, die aus konstruktiven Gegebenheiten später nicht mehr zugänglich sind, müssen bereits beim Bau mit einem dauerhaften Korrosionsschutz versehen werden.

1.3 Ein aktiver Korrosionsschutz ist z.B. durch Anbringung von Opferanoden in ausreichender Anzahl und Beschaffenheit zu gewährleisten.

2. Schutz innen

Korrosionsschutzanstriche im Inneren des Druckkörpers müssen den Anforderungen gemäß Abschnitt 5, G. entsprechen.

Abschnitt 7

Einrichtungen zum Tauchen/Ballastieren, Regeln/Kompensieren und Trimmen

A. Allgemeines

1. Die folgenden Vorschriften gelten für die Einrichtungen zum Tauchen/Ballastieren, Regeln/ Kompensieren und Trimmen von Unterwasserfahrzeugen einschließlich zugehöriger Komponenten.

Es ist sicherzustellen, dass diese Einrichtungen unter allen spezifizierten Bedingungen von Krängung und Trimm einschließlich derer, die bei einem Unfall, wobei der Druckkörper nicht beschädigt wird, auftreten können, arbeiten.

Rohrleitungen und Pumpen hierzu werden in Abschnitt 9 behandelt. Die Anforderungen an Tiefenruder und andere Manövriereinrichtungen sind in Abschnitt 10 definiert.

2. Die dem GL zur Genehmigung einzureichenden Unterlagen sind in Abschnitt 2, E. dargestellt.

3. Die erforderlichen Prüfungen und Kennzeichnungen sind Abschnitt 2, F. und G. zu entnehmen.

B. Grundsätze für die Auslegung und Konstruktion

1. Allgemeine Grundsätze

1.1 Tauch-, Regel- und Trimmzellen sind so zu bemessen und anzuordnen, dass folgende Bedingungen erfüllt werden:

- Das Unterwasserfahrzeug muss in jeder Betriebsphase stabil sein, vgl. Abschnitt 3.
- Das Unterwasserfahrzeug muss bei den maximal zulässigen Seegangsbedingungen sicher an der Wasseroberfläche betrieben werden können.
- Es muss möglich sein, vor der Einleitung eines Tauchvorgangs die notwendigen technischen Einrichtungen kontrollieren zu können (Tauchklar-Check).
- In getauchtem Zustand muss das Unterwasserfahrzeug in jeder Tiefe bis zur Nenntauchtiefe NDD statisch ausgewogen und ausgetrimmt werden können.
- Das Unterwasserfahrzeug muss jederzeit in der Lage sein, sicher an die Wasseroberfläche zurückzukehren.
- Bei Ausfall der Regelzellenanlage muss das Unterwasserfahrzeug durch Abwerfen von Ballast und/oder Notanblasen der Tauchzellen auftauchen können und an der Oberfläche in aufrechter stabiler Lage schwimmen.

1.2 Zum Tauchen/Auftauchen können dienen:

- Tauchzellen
- Regelzellen
- Trimmzellen als dynamische Tauch-/Auftauchhilfe, siehe E.
- Tiefenruder/Seitenruder als dynamische Tauch/-Auftauchhilfe, siehe Abschnitt 10
- Abwurf von Ballast, siehe Abschnitt 15, B.3.
- Antriebsanlagen als dynamische Tauch-/Auftauch-hilfe, siehe Abschnitt 10

1.3 Bei nicht-autonomen Unterwasserfahrzeugen, die über Umbilicals mit Tragseil mit dem Versorgungsschiff verbunden sind, muss ein vom Tragseil unabhängiges Auftauchen des Unterwasserfahrzeugs möglich sein.

1.4 Eine Kombination von Regel- und Trimmsystemen ist möglich, vergleiche Abschnitt 9, B.2.

1.5 Flut- und Lenzöffnungen sind gegen Verstopfung bzw. Eindringen von Fremdkörpern durch Anbringung von z.B. geeigneten Gittern, Filtern, Lenzkörben zu schützen.

2. Steuerung der Anlagen

2.1 Alle Bedienelemente zur Steuerung von Auf- und Abtrieb sind im Fahrpult des Unterwasserfahrzeugs bzw. bei größeren Fahrzeugen am Tiefensteuerstand zusammenfassend anzuordnen und eindeutig zu kennzeichnen.

2.2 Das Fahrpult bzw. der Tiefensteuerstand ist mit Anzeigeinstrumenten auszurüsten, die kontinuierlich die Lage des Unterwasserfahrzeugs und den Zustand bzgl. Tiefe und Trimm anzeigen.

2.3 Für Bedienelemente und Anzeigeinstrumente gelten die Vorschriften gemäß Abschnitt 12. Zur dynamischen Tiefensteuerung siehe Abschnitt 10.

C. Tauchzellen

1. Zweck

Tauchzellen sollen zum Tauchen des Unterwasserfahrzeugs durch Füllung mit Wasser und zum Auftauchen durch Entfernen des Wassers und Füllen mit Luft dienen.

2. Berechnung und Werkstoffe

2.1 Hinsichtlich der Werkstoffe, Konstruktion und Berechnung von Tauchzellen gelten die Vorschriften gemäß den Abschnitten 5 und 6, soweit anwendbar.

2.2 Tauchzellen sind so auszulegen und zu bauen, dass sie dem Wellenschlag und dem statischen Innendruck widerstehen.

3. Anordnung

Tauchzellen werden im Normalfall außerhalb des Druckkörpers innerhalb der Außenstruktur angeordnet.

4. Füllen und Entleeren

4.1 Der Rauminhalt der Tauchzellen ist so zu wählen, dass das Unterwasserfahrzeug im aufgetauchten Zustand genügend Freibord aufweist sowie genügend Reserveverdrängung besitzt, vergleiche Abschnitt 3, B.1.

4.2 Das Füllen soll in der Regel durch geeignete Flutöffnungen für Wasser in der Nähe des Zellenbodens erfolgen, die gleichzeitige Entlüftung durch Ventile an der Zellendecke.

Das Entleeren hat bei geschlossener Entlüftung durch Einblasen von Pressluft oder durch Auspumpen zu erfolgen. Für die Auslegung des Luftvorrats gilt Abschnitt 9, B.3.1.

Bei anderen Konzeptionen von Tauchzellen sind etwaige abweichende Bedingungen vom GL zu genehmigen.

4.3 Tauchzellen sind so mit Entlüftungen auszurüsten, dass eine vollständige Füllung der Zellen mit Wasser erreicht wird. Die Entlüftung muss für jede Zelle einzeln absperrbar sein. Die Entlüftungsventile sind so auszuführen, dass ein unbeabsichtigtes Öffnen verhindert wird.

4.4 Bei Tauchzellen mit nicht verschließbaren Flutöffnungen kann eine doppelte Absperrung der Entlüftungsleitung gefordert werden.

4.5 Werden Tauchzellen durch Druckluft entleert, so muss für den Notfall die Anblaseleitung für jede Zelle einzeln absperrbar sein. Es ist sicherzustellen, dass beim Anblasen kein unzulässiger Überdruck entstehen kann.

4.6 Sollen die Tauchzellen durch Lenzpumpen entleert werden, sind die Flutöffnungen verschließbar auszuführen, und es ist sicherzustellen, dass beim Lenzen der Zellen kein unzulässiger Unterdruck entstehen kann. Ist ein Lenzen nur mit Pumpen möglich, ist eine Reservelenzpumpe vorzusehen.

4.7 Bei der Verwendung von mehreren Tankzellen sind diese, wenn sie zur dynamischen Unterstützung des Tauch-/Auftauchvorgangs wirken sollen, einzeln ansteuerbar auszuführen.

D. Regelzellen

1. Zweck

Im Normalfall sind Regelzellen zur Feineinstellung der gewünschten Tiefe und zum Ausgleich von Auftriebsänderungen infolge des Verbrauchs von Versorgungsstoffen und -gütern während der Unterwasserfahrt, Änderungen der Seewasserdichte, Aufnahme oder Abgabe von Nutzlasten sowie Auf-/Abtriebseffekten vorzusehen.

2. Berechnung und Werkstoffe

2.1 Hinsichtlich der Werkstoffe, Konstruktion und Berechnung von Regelzellen, die außerhalb des Druckkörpers angeordnet sind, gelten die GL-Vorschriften, Maschinenanlagen (I-1-2), Abschnitt 8.

2.2 Regelzellen außerhalb des Druckkörpers sind für den 1,1-fachen Zerstörungsdruck **CDP** auszulegen. Wenn sie ihren Füllungszustand mit Hilfe von Druckluft verändern, ist ein Berechnungsdruck entsprechend dem zulässigen Betriebsüberdruck des Druckluftsystems zu berücksichtigen.

2.3 Regelzellen, die innerhalb des Druckkörpers angeordnet sind und deren Füllstand ausschließlich über Pumpen verändert wird, können als Schwerkrafttanks ausgeführt werden. Wenn sie ihren Füllungszustand mit Hilfe von Druckluft verändern, ist ein Berechnungsdruck PR entsprechend dem zulässigen Betriebsüberdruck des Druckluftsystems zu berücksichtigen.

3. Anordnung

Die Lage der Regelzellen sollte so gewählt werden, dass sich bei ihrem Befüllen oder Entleeren die Schwimmlage des Unterwasserfahrzeugs möglichst wenig ändert.

4. Füllen und Entleeren

4.1 Der Rauminhalt der Regelzellen muss so groß sein, dass alle für die vorgesehenen Tauchaufgaben zu erwartenden Auftriebsänderungen ausgeglichen werden können, zuzüglich eines Reservevolumens von mindestens 10 %.

4.2 Das Lenzen der Regelzellen kann durch Druckluft oder Pumpen erfolgen. Die geflutete oder gelenzte Wassermenge muss angezeigt werden. Die Regelzellen sind dazu mit kontinuierlichen Inhaltsanzeigen auszurüsten.

4.3 Die Entlüftungsleitungen von Regelzellen sind so auszuführen und anzuordnen, dass Wasser nicht unbemerkt in das Fahrzeuginnere gelangen kann. Der Querschnitt der Entlüftungsleitungen ist der maximalen Zulauf-/Ablaufrate anzupassen.

4.4 Die Regelzellen sind gegen unzulässigen Über- bzw. Unterdruck abzusichern.

E. Trimmeinrichtungen

1. Zweck

1.1 Trimmeinrichtungen dienen zum Herstellen der horizontalen Lage des Unterwasserfahrzeugs bei Fahrt auf gleicher Tiefe.

1.2 Andererseits kann bewusst eine Schräglage nach vorn oder achtern zur Unterstützung des Tauchens bzw. des Auftauchens eingestellt werden.

2. Berechnung und Werkstoffe

2.1 Hinsichtlich der Werkstoffe, Konstruktion und Berechnung von Trimmtanks, die außerhalb des Druckkörpers angeordnet sind, gelten die GL-Vorschriften, Maschinenanlagen (I-1-2), Abschnitt 8.

2.2 Trimmzellen, die außerhalb des Druckkörpers in der Außenstruktur des Unterwasserfahrzeugs angeordnet sind, müssen gegen äußere Beanspruchung für den 1,1-fachen Zerstörungstauchdruck **CDP** ausgelegt werden. Wenn sie ihren Füllungszustand mit Hilfe von Druckluft verändern, ist ein Berechnungsdruck entsprechend dem zulässigen Betriebsüberdruck des Druckluftsystems zu berücksichtigen.

2.3 Trimmzellen, die im Innern des Druckkörpers angeordnet sind und durch Pumpen umgeschleust werden, können als Schwerkrafttanks ausgelegt werden. Wenn sie ihren Füllungszustand mit Hilfe von Druckluft verändern, ist ein Berechnungsdruck entsprechend dem zulässigen Betriebsüberdruck des Druckluftsystems zu berücksichtigen.

3. Anordnung der Trimmzellen

Trimmzellen sind zur Erlangung einer großen Hebelwirkung möglichst weit vorn und achtern am Unterwasserfahrzeug anzuordnen.

4. Füllen und Entleeren der Trimmzellen

4.1 Der Rauminhalt der Trimmzellen ist so zu wählen, dass alle geplanten Trimmlagen des Unterwasserfahrzeugs durch kombiniertes Füllen und Entleeren der einzelnen Zellen eingestellt werden können.

4.2 Das Umschleusen des Wassers kann durch Pumpen oder Druckluft erfolgen. Durch Zwangsschaltung ist sicherzustellen, dass das Umschleusen stets in der gewünschten Richtung erfolgt. Die getrimmten Wassermengen müssen angezeigt werden.

4.3 Falls Trimmzellen für den Notfall direkt lenzbar eingerichtet sind, sind Fehlschaltungen im Normalbetrieb durch geeignete Maßnahmen zu verhindern.

4.4 Für außerhalb des Druckkörpers liegende Trimmzellen ist eine Entlüftung in den Druckkörper mit doppelter Absperrung vorzusehen. Bei kombinierten Regel- und Trimmeinrichtungen ist das Gesamtsystem mit dem GL abzustimmen.

5. Trimmgewichte

5.1 Werden längsverschiebbare Gewichte zum Trimmen vorgesehen, ist sicherzustellen, dass die Trimmgewichte nicht unbeabsichtigt verrutschen können.

5.2 Falls Trimmgewichte für ein bestimmtes Einsatzgebiet bzw. einen Einsatzzweck außerhalb des Druckkörpers und während des Betriebes nicht verschiebbar angeordnet sind, können sie zusätzlich zum festen Ballast als Abwurfgewicht genutzt werden, vgl. Abschnitt 15, B. Sind die Gewichte nicht einsehbar, ist am Fahrstand eine Anzeige der Lage vorzusehen.

F. Ballastsysteme

1. Ballastsysteme zum Ausgleich von Gewichtsänderungen, wie z.B. durch Nutzlasten, Änderung der Personenanzahl usw., können sowohl mit

– festem, als auch

– flüssigem Ballast

betrieben werden.

2. Für flüssigen Ballast können Regel- und Trimmzellen oder separate Ballastzellen verwendet werden.

3. Ist es bei Verwendung von festem Ballast vorgesehen, Nutzlast während des Einsatzes aufzunehmen, ist dieser abwerfbar am Unterwasserfahrzeug anzubringen.

Wird fester Ballast während des gesamten Einsatzes zur Erzielung neutralen Auftriebs benötigt, kann dieser aus sicher zu verstauenenden, nicht abwerfbaren Ballastgewichten bestehen.

4. Bei maximaler Ballastierung muss im Fehlerfall ein ausreichender Restauftrieb erzeugt werden können.

Abschnitt 8

Behälter und Apparate unter Druck

A. Allgemeines

1. Die dem GL zur Genehmigung einzureichenden Unterlagen sind in Abschnitt 2, E. dargestellt.

2. Die erforderlichen Prüfungen und Kennzeichnungen sind Abschnitt 2, F. und G. zu entnehmen.

3. Die jeweils der Auslegung zugrunde legenden Drücke sind den entsprechenden Abschnitten zu entnehmen.

B. Druckbehälter, Druckgasflaschen und Apparate unter Druck

1. Behälter

Bei Unterwasserfahrzeugen sind Behälter unter Innen- und vor allem Außendruck unter anderem erforderlich für:

- Druckbehälter für den Betrieb
- Regelzellen
- Trimmzellen
- Brennstoffbunker (falls vorhanden)
- Batteriekästen
- Ausrüstungsbehälter/Gehäuse, z.B. für Rettungsausrüstungen, Kameras, Scheinwerfer usw.
- Druckspeicher für Hydraulikanlagen
- Druck- und Tauchkammern (siehe C.)

2. Druckgasflaschen

2.1 Druckgasflaschen im Sinne dieser Vorschrift sind Behälter ≤ 150 l Inhalt, einem äußeren Durchmesser ≤ 420 mm und einer Länge ≤ 2000 mm, die über eine Füllstation mit Gasen gefüllt werden.

2.2 An Bord von Unterwasserfahrzeugen werden Druckgasflaschen unter anderem eingesetzt für:

- Pressluft zum Ausblasen von Zellen, Tanks und Bunkern
- Atemgase für die Besatzung
- Gase für Antriebe, z.B. Kreislaufmotoren sowie Brennstoffzellenantriebe

3. Apparate

Apparate unter Druck im Sinne dieser Vorschrift sind Geräte und Aggregate, die ein geschlossenes Volumen aufweisen und einem Innen- oder Außendruck ausgesetzt sind.

4. Auslegung

4.1 Behälter und Apparate sind unter Berücksichtigung von Abschnitt 4, B.3. auszulegen und gemäß Abschnitt 2, F. zu prüfen.

4.2 Für Behälter und Apparate unter Innendruck gelten die Anforderungen gemäß den GL-Vorschriften Teil 1 – Seeschiffe, Kapitel 2 – Maschinenanlagen, Abschnitt 8, A. - F. bzw. Abschnitt 8, G. für Druckgasflaschen.

4.3 Für Behälter und Apparate unter Außendruck ist in der Regel Abschnitt 5 sinngemäß anzuwenden und für die Berechnung Anhang A zu berücksichtigen. Die Anwendung anderer anerkannter Regelwerke kann im Einzelfall vom GL genehmigt werden. Dabei sind die Anforderungen für Erzeugnisse aus Stahl und Titan gemäß Abschnitt 5, B.3. und für faserverstärkte Kunststoffe (FVK) entsprechend Anhang D zu berücksichtigen.

4.4 Für außerhalb des Druckkörpers angeordnete Behälter und Apparate, deren Festigkeit nicht ausreichend rechnerisch nachgewiesen werden kann, ist eine Druckprüfung mit dem Auslegungsdruck in Höhe des 1,1-fachen Zerstörungstauchdrucks **CDP** in einer Typprüfung durchzuführen. Art und Umfang einer derartigen Typprüfung ist mit dem GL abzustimmen.

Wird durch geeignete technische Maßnahmen gewährleistet, dass stets ein definierter Innendruck vorhanden ist, kann die Prüfung nur mit dem Differenzdruck erfolgen.

C. Druck- und Tauchkammern

1. Druck- und Tauchkammern in Unterwasserfahrzeugen sind gemäß Kapitel 1 – Tauchanlagen und Tauchsimulatoren zu bauen und auszurüsten.

2. Unterwasserfahrzeuge, die eine Taucherschleuse oder Tauchkammer besitzen, sind einsatzabhängig mit einer Anschlussmöglichkeit zu einer an Bord des Versorgungsfahrzeuges befindlichen Dekompressionseinrichtung auszurüsten.

Abschnitt 9

Rohrleitungssysteme, Pumpen und Verdichter

A. Allgemeines

1. Die folgenden Vorschriften gelten für alle Rohrleitungssysteme einschließlich Armaturen, Schlauchleitungen, Pumpen und Verdichter, die für den Betrieb des Unterwasserfahrzeugs erforderlich sind. Darüber hinaus sind die GL-Vorschriften, Maschinenanlagen (I-1-2), Abschnitt 11, soweit anwendbar, zu berücksichtigen.

Die technischen Anforderungen an Schlauchleitungen und Umbilicals sind in Anhang E definiert.

2. Die dem GL zur Genehmigung einzureichenden Unterlagen sind in Abschnitt 2, E. dargestellt.

3. Die erforderlichen Prüfungen und Kennzeichnungen sind Abschnitt 2, F. und G. zu entnehmen.

B. Grundsätze für die Auslegung und Konstruktion

1. Rohrleitungen, Armaturen, Schlauchleitungen und Pumpen

1.1 Alle Rohrleitungen, Armaturen und Pumpen sind mit einem Berechnungsdruck PR gleich dem zulässigen Betriebsüberdruck PB zu dimensionieren.

Alle Rohrleitungen, Armaturen und Pumpen, die mit dem Tauchdruck belastet werden können, sind zusätzlich für den 1,1-fachen Zerstörungstauchdruck **CDP** (je nach Belastungsfall von außen oder innen) auszulegen,

1.2 Rohrleitungen, die durch die Druckkörperwand geführt werden, müssen mit zwei Absperrvorrichtungen versehen sein, von denen eine unmittelbar an der Bordwand liegen soll.

1.3 Rohrleitungen für Gase und elektrische Kabel sind möglichst getrennt zu verlegen. Rohrleitungen, welche der Gefahr mechanischer Beschädigung ausgesetzt sind, sind zu schützen.

Rohrleitungen, die in für die Wartung unzugänglichen Räumen verlegt sind, sollen aus einem Stück bestehen.

1.4 Absperrvorrichtungen müssen einer anerkannten Norm entsprechen. Armaturen mit eingeschraubten Deckeln oder Spindeln sind gegen unbeabsichtigtes Herausdrehen des Deckels zu sichern.

1.5 Handbetätigte Absperrorgane sollen durch Drehen im Uhrzeigersinn geschlossen werden.

1.6 Öffnungs- und Schließzustand aller Außenbordarmaturen sowie betriebswichtiger Absperrarmaturen müssen eindeutig zu erkennen sein. Wenn dies nicht praktikabel ist, können gleichwertige Verfahren akzeptiert werden.

1.7 Alle Armaturen, die Außenbordabschlüsse darstellen, müssen so ausgebildet sein, dass der Kegel gegen den Außendruck öffnet. Kegelhähne dürfen nicht verwendet werden.

1.8 Bei der Auslegung von Schlauchleitungen ist zu berücksichtigen:

- Jede Schlauchleitung ist für den Berstdruck auszulegen, wobei bei Flüssigkeiten der Mindestberstdruck das 4-fache, bei Gasen das 5-fache des zulässigen Betriebsüberdruckes betragen muss.
- Schlauchleitungen von Umbilicals sind für einen äußeren Auslegungsdruck entsprechend Anhang E, B. zu berechnen.

2. Lenz-, Regel- und Trimmeinrichtungen

2.1 Im Allgemeinen ist für Unterwasserfahrzeuge eine Lenzanlage vorzusehen, die in der Lage ist, anfallendes Schwitz- und Leckwasser aus allen Räumen innerhalb des Fahrzeugs zu lenzen.

2.2 Um das Eindringen von Wasser über das Lenzsystem in das Fahrzeuginnere zu verhindern, sind den Lenzanschlüssen zwei Rückströmsicherungen vorzuschalten. Eine dieser Rückströmsicherungen ist jeweils in der Leitung vor jedem Sauger anzuordnen.

2.3 Werden Lenz-, Regel- und Trimmsysteme miteinander vernetzt, sind die Verbindungsleitungen so mit Armaturen auszurüsten, dass das Eindringen von Seewasser über das Lenzsystem auch bei Fehlschaltungen oder in Zwischenstellungen der Armaturen sicher verhindert wird.

2.4 Als Lenzpumpen sind selbstansaugende Pumpen vorzusehen.

2.5 Das Lenzsystem muss über mindestens eine Reservepumpe verfügen. Bei Vernetzung von Lenz-, Regel- und Trimmsystem muss die Reservepumpe alle Systeme bedienen können.

2.6 Werden Tauchzellen nur über Pumpen gelenzt, ist die Reservepumpe an die Notstromversorgung anzuschließen.

3. Druckluftsysteme

3.1 Wenn Luft verwendet wird, um Tauch-, Regel- oder Trimmzellen anzublasen, ist ein Gesamt-Luftvorrat mitzuführen, der je nach Einsatzzweck ausreicht, die Tauchzellen an der Oberfläche mindestens 4-mal bzw. bei Nenntauchtiefe **NDD** 1,5-mal und die Regelzellen bei Nenntauchtiefe **NDD** mindestens 3-mal vollständig auszublasen. Die hierfür vorgesehenen Druckluftbehälter dürfen im Normalbetrieb nicht für andere Zwecke verwendet werden. In besonderen Fällen kann in Abstimmung mit dem GL von diesen Regelungen abgewichen werden.

3.2 Sofern Druckluftbehälter nicht ausgetauscht werden, ist für das Auffüllen der Druckluftbehälter ein Verdichter bzw. eine Übernahmeeinrichtung vorzusehen.

3.3 Der Druckluftvorrat ist mindestens in 2 getrennten Behältergruppen mit gleichem Gesamtvolumen mitzuführen.

3.4 Die Druckluftanlagen sind so mit Ventilen auszurüsten, dass kein unbeabsichtigter Druckausgleich zwischen unterschiedlichen Systemen eintreten kann.

3.5 Werden Druckminderer vorgesehen, sind diese redundant auszuführen. Im Einzelfall kann diese Redundanz durch einen Bypass mit manueller Regelung erfolgen. Auf der Niederdruckseite des Druckminderers ist ein Sicherheitsventil anzuordnen oder eine gleichwertige Sicherheitseinrichtung vorzusehen.

3.6 Druckluftanlagen sind mit einer ausreichenden Anzahl von Druckanzeigen auszurüsten.

3.7 Druckluftanlagen, die mit Seewasser in Berührung kommen, sind entsprechend auszulegen und von anderen Anlagen zu trennen. Ferner sind Maßnahmen zu treffen, die ein Eindringen von Seewasser in das Druckluftsystem soweit möglich ausschließen.

4. Hydrauliksysteme

4.1 Es ist gegebenenfalls die Möglichkeit eines Druckanstieges durch eindringendes Seewasser zu berücksichtigen.

Um das Hydrauliksystem vor Überdruck zu schützen, ist in den geschlossenen Kreislauf ein Sicherheitsventil einzubauen, wobei das abfließende Öl wieder in das System zurückfließen soll.

4.2 Für die Sicherheit des Fahrzeugs erforderliche Hydraulikanlagen sind mindestens mit einer motorgetriebenen Pumpe und einer handbetriebenen Notpumpe auszurüsten. Bei unabhängigen Fahrzeugen sind zwei motorgetriebene Pumpen vorzusehen.

4.3 Hydraulikanlagen, die nicht für Dauerbetrieb vorgesehen sind, können in Einzelfällen auch mit manuellen Pumpen ausgerüstet werden.

4.4 Alle Armaturen einschließlich der Hydrospeicher, die in Unterwasserfahrzeuge eingebaut werden, sind entsprechend 1.1 auszulegen. Armaturen sind gut zugänglich anzuordnen.

4.5 Hydrauliksysteme sind mit Filtereinrichtungen zur Reinhaltung der Hydraulikflüssigkeit auszurüsten. Ferner sind Einrichtungen zur Entlüftung und Entwässerung des Systems vorzusehen. Behälter für Hydraulikflüssigkeiten sind mit Füllstandsanzeigen auszurüsten. Soweit erforderlich, sind Hydrauliksysteme mit Einrichtungen zur Kühlung der Hydraulikflüssigkeit auszurüsten.

4.6 Hydraulikleitungen sollten nicht in der Nähe von Sauerstoffanlagen verlegt werden.

4.7 Bei der Wahl des Hydrauliköls sind außer den Betriebsbedingungen auch die Temperaturen bei der Inbetriebsetzung oder Reparatur des Unterwasserfahrzeugs zu berücksichtigen, vergleiche C.3.

4.8 Hydrauliksysteme sind mit allen für die Funktion des Systems erforderlichen Anzeigeeinrichtungen auszurüsten.

5. Sauerstoffsysteme

Bei Sauerstoffsystemen sind die folgenden besonderen Anforderungen zu berücksichtigen:

5.1 Rohrleitungsysteme für Gasgemische mit einem Sauerstoffanteil größer als 25 % sind wie Rohrleitungssysteme für reinen Sauerstoff zu behandeln.

5.2 Alle im System enthaltenen Komponenten und Werkstoffe müssen entsprechend ihrer Bauart und ihrer Verwendung für Sauerstoff geeignet sein, sowie vor Inbetriebnahme sorgfältig gereinigt und entfettet werden.

5.3 Manometer für Sauerstoff und/oder Nitrox müssen als öl- und fettfrei gekennzeichnet sein.

5.4 In Sauerstoff führenden Rohrleitungen sind nur Spindelventile zugelassen; als Notabsperrung dürfen jedoch schnellschließende Ventile, wie z.B. Kugelhähne an geeigneter Stelle vorgesehen werden, wenn diese entsprechend gekennzeichnet und gegen unbeabsichtigte Betätigung gesichert sind.

5.5 Der Druck in Sauerstoffrohrleitungen ist möglichst bereits am Gaslager auf einen Druck zu reduzieren, der eine ausreichende Gasversorgung der Tauchanlage noch zulässt.

5.6 Sauerstoffleitungen sind getrennt von Öl führenden Leitungen zu verlegen. Hochdrucksauerstoffleitungen dürfen nicht durch Unterkunfts-, Maschinen- oder ähnliche Räume verlegt werden.

5.7 Für Sauerstoffleitungen mit Betriebsdrücken über 40 bar sind hochlegierte Cr-Ni-Stähle mit einem

Gehalt an Cr und Ni von zusammen mindestens 22 % oder Cr-Si-Stähle mit einem Cr-Gehalt von mindestens 22 % zu verwenden.

5.8 Verbindungsstücke für Sauerstoff sind so zu konstruieren, dass Ausbrand vermieden wird oder so anzuordnen bzw. zu schützen, dass das Personal bei Ausbrand nicht verletzt werden kann.

5.9 Spindelventile für Sauerstoff sind für nominelle Durchmesser über 15 mm und Betriebsdrücke von mehr als 40 bar so zu konstruieren, dass sich das Spindelgewinde außerhalb des Gasraums befindet.

5.10 Dichtungsmaterialien welche brennbare Elemente enthalten und welche mit Gasen unter Druck und Sauerstoffeinwirkung in Kontakt kommen, können nur für Verbindungsstücke zugelassen werden, wenn die Eignung für die Drücke, Temperaturen und Montageart nachgewiesen ist.

5.11 Bei Armaturen und Verbindungsstücken für Sauerstoff sind nur Schmiermittel gestattet, die für die aktuellen Betriebsbedingungen zugelassen sind.

5.12 Schläuche müssen für Sauerstoff geeignet sein.

5.13 Bezüglich Anforderungen für Sauerstoffanlagen in Lebenserhaltungssystemen siehe Abschnitt 13, C.2.1.

C. Werkstoffe, Herstellung und Berechnung

Hinsichtlich der Werkstoffe, Herstellung und Berechnung gelten für:

1. Rohrleitungen, Armaturen und Pumpen

Die GL-Vorschriften, Maschinenanlagen (I-1-2), Abschnitt 11.

Alle Rohrleitungen, die durch die Wandung des Druckkörpers führen, müssen mindestens der Rohrklasse I entsprechen.

2. Verdichter

Die GL-Vorschriften, Maschinenanlagen (I-1-2), Abschnitt 2.

3. Hydrauliksysteme

Die GL-Vorschriften, Maschinenanlagen (I-1-2), Abschnitt 14.

D. Betriebsstoffe

1. Betriebsstoffe wie Hydraulikflüssigkeiten, Schmierstoffe usw. sind entsprechend den vorgesehenen Umgebungsbedingungen auszuwählen. Sie dürfen im gesamten Temperaturbereich weder zu Verstockungen noch zu Verdampfungen neigen.

2. Feste Schmierstoffe sind so zu wählen, dass auch bei einem Wassereinbruch bzw. bei Mischung mit Seewasser die Funktionsfähigkeit des Unterwasserfahrzeugs nicht wesentlich beeinträchtigt wird.

3. Betriebsstoffe sollten keine giftigen Bestandteile aufweisen, die bei Berührung mit der Haut oder durch Ausdunstung zu Gesundheitsschäden führen können.

4. Betriebsstoffe sollten nicht korrosiv sein oder andere Betriebsmittel (z.B. Dichtungen, Schlauchleitungen usw.) angreifen.

Abschnitt 10

Antriebs- und Manövriereinrichtungen

A. Allgemeines

1. Die folgenden Vorschriften gelten für alle Einrichtungen zum Antrieb und dynamischen Positionieren von Unterwasserfahrzeugen sowie für alle Ruderanlagen einschließlich der dynamischen Tiefensteuerung. Darüber hinaus gelten für Antriebs- und Ruderantriebseinrichtungen die GL-Vorschriften, Maschinenanlagen (I-1-2), für Seiten- und Tiefenruder die GL-Vorschriften, Maschinenanlagen (I-1-2), Abschnitt 14.

2. Die dem GL zur Genehmigung einzureichenden Unterlagen sind in Abschnitt 2, E. dargestellt.

3. Die erforderlichen Prüfungen und Kennzeichnungen sind Abschnitt 2, F. und G. zu entnehmen.

B. Grundsätze für die Auslegung und Konstruktion

1. Antriebseinrichtungen

1.1 Antriebseinrichtungen sind hinsichtlich Art, Anzahl, Größe und Anordnung entsprechend dem vorgesehenen Einsatzzweck und der Einsatzart des Unterwasserfahrzeugs auszulegen.

1.2 Extern angeordnete Antriebseinrichtungen sind für das 1,1-fache des Zerstörungstauchdrucks **CDP** oder druckausgeglichen auszulegen.

1.3 Antriebsmaschinen für Unterwasserfahrzeuge sind für Wechsel- und Dauerbetrieb auszulegen.

1.4 Für Verbrennungsmotoren soll bei Überwasserfahrt die Luftversorgung über einen Luftmast erfolgen. Bezüglich der Anforderungen an den Luftmast siehe Abschnitt 13, C. sowie auch Abschnitt 6, C. Abgasleitungen sind über eine doppelte, druckfeste Absperrung aus dem Druckkörper herauszuführen.

Anforderungen an geschlossene Kreislauf-Antriebssysteme sind mit dem GL im Einzelfall abzustimmen.

Bei Antriebsanlagen, z.B. Verbrennungsmotoren, ist jederzeit sicherzustellen, dass keine Gase aus dem Verbrennungsprozess in die Atmosphäre des Unterwasserfahrzeugs gelangen.

1.5 Elektrische Antriebsmotoren sind entsprechend den Anforderungen in Abschnitt 11 auszulegen.

1.6 Wenn die Antriebsmaschine innerhalb des Druckkörpers angeordnet ist, sollte auch das Drucklager im gleichen Raum angeordnet sein.

1.7 Bezüglich Wellendurchführungen durch Druckkörperwandungen siehe Abschnitt 5, C.6.3.

1.8 Propeller sind gegebenenfalls so zu schützen, dass Gefährdungen von Tauchern und Verhaken des Unterwasserfahrzeugs vermieden werden.

1.9 Vorrichtungen zur Steuerung der Drehzahl und/oder der Drehrichtung sind so auszulegen, dass im Falle ihres Versagens der Antriebsmotor gestoppt werden kann. Antriebsmotore unabhängiger Unterwasserfahrzeuge müssen auch von Hand steuerbar sein.

1.10 Die Antriebseinrichtungen sind mit einer ausreichenden Anzahl von Anzeigen und Alarmen auszurüsten, um einen sicheren Betrieb zu gewährleisten.

1.11 Infolge der beengten räumlichen Verhältnisse in einem Unterwasserfahrzeug ist auf eine optimierte Anordnung der Geräte zur Gewährleistung der minimal erforderlichen Zugänglichkeit zu achten. Außerdem ist anzustreben, dass möglichst alle Geräte ohne Öffnen des Druckkörpers durch die vorhandenen Luken ein- und ausgebaut werden können.

2. Manövriereinrichtungen

2.1 Unterwasserfahrzeuge sind mit geeigneten Einrichtungen auszurüsten, die dem Fahrzeug sowohl bei Unterwasser- als auch bei Überwasserfahrt die erforderliche Manövrierfähigkeit verleihen.

Insbesondere ist auch ein Propellerschub für Rückwärtsfahrt vorzusehen, der ein effektives Abbremsen des Fahrzeugs ermöglicht.

2.2 Tiefen- und Seitenruderanlagen sind nach den jeweils größten Beanspruchungen auszulegen, die sich bei Überwasserfahrt aus den Stampfbewegungen und Seeschlag und bei Unterwasserfahrt aus den Steuerkräften ergeben. Die Vergleichsspannung im Ruderschaft soll 0,5 × Streckgrenze nicht überschreiten.

2.3 Unabhängige Unterwasserfahrzeuge sind mindestens mit einer Haupt- und einer Hilfsruderantriebsanlage auszurüsten. Dabei muss die Hauptruderantriebsanlage in der Lage sein, das Seitenruder bei voller Geschwindigkeit des Fahrzeugs innerhalb von 28 Sekunden von 35° der einen nach 30° der anderen Seite zu bewegen.

2.4 Tiefenruder sind so anzulegen, dass bei ausreichender Anströmung das auftriebsneutral eingesteuerte Unterwasserfahrzeug bzgl. Auf- und Abtrieb unterstützt wird.

2.5 Wenn bei Unterwasserfahrzeugen Tiefenruderanlagen zwingend notwendig sind, sind diese Ruderanlagen mit einer alternativen Kraftversorgung auszurüsten. Die Umschaltung von der Haupt- auf die alternative Kraftversorgung muss vom Fahrstand aus möglich sein.

2.6 Für Schwenkeinrichtungen von Antriebsaggregaten, die gleichzeitig als Manövriereinrichtung dienen, gelten die gleichen Anforderungen wie für Ruder.

2.7 Unabhängige Unterwasserfahrzeuge sind am Haupt- und Notsteuerstand mit Ruderlagenanzeigen für Seiten- und Tiefenruder auszurüsten. Alle anderen Unterwasserfahrzeuge sind mindestens mit je einer Ruderlagenanzeige für das Seiten- und Tiefenruder auszurüsten. Ferner sind geeignete Anzeigeinstrumente vorzusehen, die Fehlfunktion oder Ausfall der Ruderantriebsanlage anzeigen.

3. Positioniereinrichtungen

Dynamische Positionierung kann für bestimmte Einsatzzwecke erforderlich sein, wobei bei nichtautonomen Unterwasserfahrzeugen ein Zusammenwirken mit dem Versorgungsschiff erforderlich werden kann, vergleiche auch Abschnitt 17, C.4.

3.1 Allgemein

3.1.1 Unter dynamischer Positionierung ist zu verstehen, dass ein Fahrzeug automatisch seine Position an der Wasseroberfläche oder im Unterwasserraum (im Rahmen der für den Einsatzzweck definierten Genauigkeit des Systems) beibehält oder sich auf einem vordefinierten Pfad unter Einbeziehung der Tiefe bewegt, wobei ausschließlich die Wirkung von Propulsoren herangezogen wird.

3.1.2 Systeme zur dynamischen Positionierung müssen folgende Untersysteme umfassen:

– soweit für den sicheren Einsatz erforderlich, redundante Energiequelle mit Schaltanlage und Energieverteilung

– eine Anzahl von Antriebsaggregaten/Propulsoren mit Motor, eventuell Getriebe sowie Propeller, sowie gegebenenfalls Schwenkwerk. Die Steuerbarkeit der Positioniereinrichtungen muss der Aufgabenstellung des Unterwasserfahrzeugs entsprechen.

– geeignete Sensoren zur Lage-/Standortbestimmung

– Steuerungssystem mit Computersystem einschließlich Software, Sensorsystem, Anzeigedisplay im Fahrstand und Referenzsystem für die Position

– Weitere Details über die Anforderungen an derartige Systeme sind in den GL Rules for Dynamic Positioning Systems (I-1-15) definiert.

3.2 Unterwasserfahrzeug

Bei Unterwasserfahrzeugen ist die Verwendung von dynamischer Positionierung und die dafür erforderliche Ausrüstung im Einzelfall mit dem GL abzustimmen.

Abschnitt 11

Elektrische Einrichtungen

A. Allgemeines

1. Die folgenden Vorschriften definieren die Besonderheiten für alle elektrischen Einrichtungen an Bord von Unterwasserfahrzeugen und sind den für weitere Detailprobleme heranzuziehenden GL-Vorschriften, Elektrische Anlagen (I-1-3) übergeordnet.

Für Unterwasserfahrzeuge mit Taucherausstieg sind für die elektrischen Einrichtungen im Bereich des Taucherausstiegs auch die Anforderungen gemäß Tauchanlagen und Tauchsimulatoren (I-5-1), Abschnitt 2, N. zu erfüllen.

2. Die dem GL zur Genehmigung einzureichenden Unterlagen sind in Abschnitt 2, E. aufgeführt.

3. Die erforderlichen Prüfungen und Kennzeichnungen sind Abschnitt 2, G. und H. zu entnehmen.

B. Grundsätze für die Auslegung

1. Allgemeine Grundsätze

1.1 Alle elektrischen Anlagen und Einrichtungen sind so auszulegen und zu installieren, dass sie unter den für das Unterwasserfahrzeug definierten Auslegungsbedingungen zufrieden stellend arbeiten bzw. einsatzfähig sind, um das Risiko von Feuer, Explosion, Stromschlägen und Emission von toxischen Gasen gegenüber Besatzung und Passagieren zu minimieren. Hinsichtlich der einzuhaltenden Betriebsbedingungen für elektrische Betriebsmittel gelten die Anforderungen gemäß den GL-Vorschriften, Elektrische Anlagen (I-1-3), Abschnitt 1, F.

1.2 Neben den in den GL-Vorschriften, Elektrische Anlagen (I-1-3), Abschnitt 1, B. aufgeführten betriebswichtigen Verbrauchern gehören auf Unterwasserfahrzeugen auch die elektrischen Einrichtungen der

- Batterieladeeinrichtung für autonome und unabhängige Unterwasserfahrzeuge mit eigener Ladeeinrichtung, z.B. Generator
- Batterieraumlüfter
- Säureumwälzung und Kühlung
- H_2-Messeinrichtung
- Atemluftüberwachung und -aufbereitung zu den betriebswichtigen Verbrauchern
- Lenz- und Notlenzeinrichtungen
- elektrische Einrichtungen für Tauch- und Regelzellen, z.B. Magnetventile

2. Werkstoffe und Isolation

2.1 Die für die Konstruktion der elektrischen Maschinen, Kabel und Geräte verwendeten Werkstoffe müssen widerstandsfähig gegen feuchte und salzhaltige Seeluft sowie gegen Seewasser und Öldämpfe sein. Sie dürfen nicht hygroskopisch und müssen schwerentflammbar und selbstverlöschend sein.

2.2 Als Träger unter Spannung stehender Teile sind Werkstoffe mit hoher Kriechstromfestigkeit zu verwenden.

2.3 Die Kriech- und Luftstrecken sind gerätespezifisch entsprechend IEC zu bemessen. Generatorschalter, Druckkörperwanddurchführungen, Unterwassersteckverbindungen und Geräte, die unmittelbar an die Sammelschienen angeschlossen werden, sind für die nächst höhere Nennisolationsspannung auszulegen.

2.4 Werkstoffe und Isolierungen elektrischer Einrichtungen, die im Wasser benutzt werden, sind in jedem Einzelfall mit dem GL abzustimmen.

3. Versorgungssysteme

3.1 Zugelassene Versorgungssysteme sind:

- Gleichstrom und 1-Phasen-Wechselstrom:
  2-Leiter isoliert vom Fahrzeugkörper
- Drehstrom (3-Phasen-Wechselstrom):
  3-Leiter isoliert vom Fahrzeugkörper

3.2 Netze mit geerdetem Sternpunkt sind auf Unterwasserfahrzeugen nicht zulässig.

4. Spannungen und Frequenzen

Die Verwendung genormter Spannungen und Frequenzen wird empfohlen. Als maximal zulässige Spannungen gelten, wobei abweichende Spannungen für Vortriebsanlagen mit dem GL abgestimmt werden können:

500 V:

- für fest installierte Kraftanlagen
- für über Steckdosen angeschlossene Kraftanlagen
- für Verbraucher für Heizung und Küche

250 V:

– für Beleuchtungsanlagen, Steckdosen für Gleichspannung und 1-Phasen-Wechselspannung

– ortsveränderliche Betriebsmittel mit Schutzisolierung und/oder Schutztrennung

– Maschinen-, Führungs- und Überwachungsanlagen, Fahrzeug-Führungsanlagen, Fahrzeug-Sicherheitsanlagen

50 V:

– für ortsveränderliche Betriebsmittel, für Arbeiten unter beengten Raumverhältnissen und in feuchten Räumen, gegebenenfalls unter Verwendung von Sicherheits-Trenntransformatoren

5. Schutzmaßnahmen

5.1 Schutzmaßnahmen sind an allen elektrischen Betriebsmitteln gemäß den GL-Vorschriften, Elektrische Anlagen (I-1-3), Abschnitt 1 vorzusehen, soweit nicht im Folgenden besonders festgelegt.

5.2 Auf Unterwasserfahrzeugen gelten die Mindestschutzarten gemäß Tabelle 11.1. Die Schutzart des Betriebsmittels muss im eingebauten Zustand auch während des Betriebes (Schräglage) gewährleistet sein. Dabei werden auch Abdeckungen am Einbauort als Schutzmaßnahme angesehen.

5.3 Schutzleiter

Bei Verwendung von Schutzleitern ist zu beachten:

a) Als Schutzleiter muss ein zusätzliches Kabel oder eine zusätzliche Leitung oder eine zusätzliche Ader im Anschlusskabel vorgesehen werden. Die Verwendung von Kabelarmierungen als Schutzleiter ist im Einzelfall zu prüfen und durch den GL zu genehmigen.

b) Der Querschnitt des Schutzleiters muss mindestens gleich dem halben Querschnitt der Hauptleiter/Außenleiter sein. Bei Querschnitten bis zu 16 mm^2 muss sein Querschnitt jedoch gleich dem der Hauptleiter/Außenleiter sein. Bei getrennt verlegten Schutzleitern beträgt der Mindestquerschnitt 4 mm^2. Der Querschnitt des Schutzleiters muss mindestens den Werten nach Tabelle 11.2 genügen.

   Im Fahranlagennetz sind für die Bemessung der Schutzleiter die an den jeweiligen Betriebsmitteln maximal möglichen Kurzschlussströme, die maximalen Abschaltzeiten der vorhandenen Schutzelemente sowie eine maximale Temperatursteigerung am Schutzleiter von 90 °C zugrunde zu legen

c) Auf isolierten Schwingungsdämpfern angebrachte Maschinen und Geräte sind durch bewegliche Kabel, Leitungen oder kupferne Litzenbänder zu erden.

d) Der Anschluss des Schutzleiters an dem Körper des Versorgungsschiffes muss an leicht zu kontrollierender Stelle erfolgen.

e) Die Anschlüsse der Schutzleiter an das Unterwasserfahrzeug sind an leicht zu kontrollierenden Stellen zu installieren.

f) An den Aufbauten bzw. am Fahrzeugkörper ist an gut zugänglicher Stelle eine Anschlussmöglichkeit in Form einer Anschlussplatte mit Stehbolzen vorzugsweise M12 vorzusehen, an welcher Schutzleiter ohne Verwendung von Werkzeug angeschlossen werden können.

   Dieser Anschluss soll den Potentialausgleich zwischen dem geborgenen Unterwasserfahrzeug und dem Versorgungsschiff darstellen.

Tabelle 11.1 Mindestschutzarten gegen Fremdkörper und Wasser (gemäß IEC 60529)

Betriebsmittel / Einbauort	**Sicherheits- und Messeinrichtungen**	**Generatoren, Motoren, Transformatoren**	**Schaltanlagen, Elektronikanlagen, Registriergeräte**	**Fernmeldegeräte, Eingabegeräte, Signalmittel, Schalter, Steckdosen, Abzweigdosen, Stellglieder**	**Wärmegeräte, Erhitzer, Kochgeräte**	**Leuchten**
Kontrollräume und Wohnräume	--	IP 23	IP 23	IP 23	IP 44	IP 23
Maschinenräume und Sanitärräume	IP 55	IP 44	IP 44	IP 55	IP 44	IP 44
Rohrtunnel, Bilgen	IP 56	–	–	IP 56	–	IP 56
außerhalb des Druckkörpers	Druckwasserdichtigkeit entsprechend den Auslegungskriterien des Unterwasserfahrzeugs					

C. Energieversorgung

1. Energiebedarf

1.1 Die ausreichende Bemessung der Anlagen zur Erzeugung und Speicherung von elektrischer Energie muss durch eine Leistungsbilanz nachgewiesen werden.

1.2 Der Leistungsbedarf ist für folgende Betriebszustände zu ermitteln:

– Normalbetrieb (Überwasserfahrt/Tauchfahrt)

– Notbetrieb

1.3 Für die Leistungsbilanz sind sämtliche installierten Verbraucher mit ihrer Leistungsaufnahme zu erfassen und entsprechend den allgemeinen Betriebszuständen zu berücksichtigen.

2. Einrichtungen für Energieversorgung

Alle elektrische Einrichtungen, die für die Sicherheit des Unterwasserfahrzeugs und seiner Besatzung betriebswichtig sind, sind an eine unabhängige Haupt- und Not-Energieversorgung anzuschließen.

2.1 Hauptenergieversorgung

2.1.1 Jedes Unterwasserfahrzeug ist mit einer Hauptstromquelle von ausreichender Leistung auszurüsten, dass:

– die Aufrechterhaltung des normalen Betriebes und der an Bord vorgesehenen Lebensbedingungen ohne Rückgriff auf die Not-Energieversorgung sichergestellt ist

– die elektrische Versorgung sowohl bei außenluft-unabhängigem als auch bei außenluftabhängigem Betrieb für die vorgesehene Einsatzzeit gewährleistet ist

2.1.2 Die Hauptstromquelle muss aus mindestens zwei voneinander unabhängigen, redundanten Stromerzeugungssystemen wie z.B.

– Generatoren,

– Batterien,

– Brennstoffzellen-Anlagen

bestehen.

Ausnahmen sind bei Fahrzeugen mit begrenztem Fahrbereich und/oder bei Begleitung durch Versorgungsschiffe möglich.

2.1.3 Bei nicht-autonomen Unterwasserfahrzeugen kann die Hauptenergieversorgung direkt von der Hauptschalttafel des Versorgungsschiffes bzw. von der Hauptstromquelle der Tauchanlage erfolgen.

2.1.4 Generatoraggregate müssen, wenn sie elektrisch gestartet werden, mit einer Startvorrichtung gemäß den GL-Vorschriften, Elektrische Anlagen (I-1-3), Abschnitt 3 ausgerüstet sein.

Tabelle 11.2 Schutzleiterquerschnitte

Außenleiter-querschnitt [mm²]	Mindest Schutzleiterquerschnitt	
	in isolierten Kabeln [mm²]	separat verlegt [mm²]
0,5 bis 4	gleich dem Außenleiter-querschnitt	4
> 4 bis 16	gleich dem Außenleiter-querschnitt	gleich dem Außenleiter-querschnitt
> 16 bis 35	16	16
> 35 bis < 120	gleich dem halben Außen-leiterquerschnitt	gleich dem halben Außen-leiterquerschnitt
≥ 120	70	70

2.2 Notenergieversorgung

2.2.1 Auf allen Unterwasserfahrzeugen ist eine unabhängige Notstromquelle vorzusehen.

Die Anordnung und elektrische Einbindung der Not-Energieversorgung soll so erfolgen, dass bei Ausfall oder Beschädigung der Hauptenergieversorgung durch Feuer oder andere Einwirkungen, die Funktion der Not-Energieversorgung gewährleistet ist.

2.2.2 Die Notstromquelle muss in der Lage sein, den für Notfälle erforderlichen Energiebedarf für das Unterwasserfahrzeug zu liefern.

Alle zum Auftauchen des Fahrzeuges erforderlichen elektrischen Einrichtungen müssen ausreichend mit Strom versorgt werden, ferner sind mindestens folgende Einrichtungen entsprechend einer Notenergiebilanz mit elektrischer Energie zu versorgen:

– Notbeleuchtung im Fahrzeuginnern

– Not-Kommunikationseinrichtungen

– Einrichtungen zur Erhaltung einer atembaren Atmosphäre

– wichtige Überwachungs- und Alarmeinrichtungen wie Leckwasserüberwachungsanlage, Brandmeldeanlage, Atemluftüberwachung, H_2-Überwachung

– Ortungseinrichtungen, Signallampen

3. Lade- und Landanschluss

3.1 Werden Steckvorrichtungen für Lade- und Landanschluss mit einem Nennstrom von über 16 A eingebaut, ist eine Verriegelung vorzusehen, dass weder das Einstecken noch das Ziehen des Steckers

möglich ist, wenn die Kontaktbuchsen der Steckdosen unter Spannung stehen.

3.2 Auf der Hauptschalttafel ist eine Anzeigevorrichtung anzubringen, welche erkennen lässt, ob die Landschlussleitung unter Spannung steht.

4. Akkumulatoren und Ladegeräte

4.1 Akkumulatoren, allgemein

4.1.1 Akkumulatoren sind so zu bemessen, dass sie mit 80 % ihrer Nennkapazität die Verbraucher entsprechend der Energiebilanz über den geforderten Zeitraum versorgen können.

4.1.2 Am Ende des Versorgungszeitraumes muss die Spannung am Akkumulator bzw. an den Verbrauchern mindestens die in den GL-Vorschriften, Elektrische Anlagen (I-1-3), Abschnitt 1, F. und Abschnitt 3, C. angegebenen Werte aufweisen.

4.1.3 Zugelassen sind Bleiakkumulatoren mit verdünnter Schwefelsäure als Elektrolyt sowie Stahlakkumulatoren mit Nickel-Cadmium-Zellen und verdünnter Kalilauge als Elektrolyt.

4.1.4 Weitere Batterietypen können unter Berücksichtigung und Prüfung folgender Punkte zugelassen werden:

- Kurzschlussfestigkeit
- Sicherungselemente bei auftretendem Kurzschluss
- elektrische Überwachungselemente
- Brandgefahr/Brandverhalten inklusive Auswirkungen auf benachbarte Zellen oder Bauteile
- spezielle Anforderungen an den Aufstellungsort
- Eignung der verwendeten zugehörigen elektrischen Bauteile
- Einbindung in die elektrische Anlage inklusive der Schalteinrichtungen
- Ladeeinrichtung und Ladeautomationseinrichtungen

4.1.5 Akkumulatoren müssen so beschaffen sein, dass eine störungsfreie Funktion bis zu 22,5° Schräglage erhalten bleibt und bis zu 45° Schräglage kein Elektrolyt austritt. Zellen ohne Abdeckung sind nicht zulässig.

4.1.6 Das Gehäuse muss beständig sein gegen Elektrolyte, Mineralöle und Reinigungsmittel sowie gegen Korrosion durch Salznebel. Glas und leicht entflammbares Material sind als Gehäuse-Werkstoff nicht zugelassen.

4.1.7 Bei Akkumulatoren mit flüssigem Elektrolyt muss der Elektrolytstand überprüfbar sein. Der max. zulässige Elektrolytstand muss gekennzeichnet sein.

4.1.8 Blei-Akkumulatoren und alkalische Akkumulatoren dürfen nicht in einem gemeinsamen Raum bzw. nicht in unmittelbarer Nähe zueinander aufgestellt werden.

4.1.9 Bei einer installierten Batteriekapazität von 1000 Ah und mehr ist die Batterie in Teilbatterien aufzuteilen, damit im Fehlerfall noch ein eingeschränkter Betrieb möglich ist.

4.1.10 Beschädigte Zellen müssen, falls sie sich innerhalb des Druckkörpers befinden, mit Bordmitteln überbrückt werden können. Die Verwendung steifer Verbindungsglieder zwischen Batterien ist zu vermeiden.

4.1.11 Das Gewicht der größten Transporteinheit soll 100 kg nicht überschreiten.

4.1.12 Die Nenndaten von Akkumulatoren sind auf einem Typenschild anzugeben.

Akkumulatoren sind entsprechend den Angaben des Herstellers zu warten und zu betreiben.

4.1.13 Akkumulatoren, die als Energiequelle für elektrische Propellerantriebe und/oder zur Versorgung des Bordnetzes vorgesehen sind, sollen in besonderen Batterieräumen oder Behältern aufgestellt werden. Dabei ist sicherzustellen, dass die Akkumulatoren für das Auswechseln von Zellen und für Reparaturen und Wartungsarbeiten zugänglich sind.

4.1.14 Es sind Maßnahmen zu treffen, die verhindern, dass die Fahrzeugbesatzung und die Betriebseinrichtungen durch austretende Elektrolytdämpfe gefährdet werden.

4.1.15 Am Zugang zu Batterieräumen ist ein Schild anzubringen, welches darauf hinweist, dass in den Batterieräumen nur isolierte Werkzeuge benutzt werden dürfen und leitende Gegenstände - wie z. B. Schlüssel, Kugelschreiber, Uhren mit leitenden Armbändern - abzulegen sind.

Auf die Explosionsgefahr ist hinzuweisen.

4.1.16 Akkumulatoren sind so aufzustellen, dass eine mechanische Beschädigung möglichst ausgeschlossen ist. Ferner muss sichergestellt sein, dass ein sicherer Betrieb bei den in Abschnitt 2, D. aufgeführten Umgebungsbedingungen möglich ist und der Austritt von Elektrolyt vermieden wird.

Bei mechanischer Beschädigung von einzelnen Batteriezellen soll durch geeignete Maßnahmen wie z.B. Kunststoffbehälter oder Weichgummisäcke vermieden werden, dass Elektrolyt in die Bilge des Batterieraumes gelangt.

4.2 Besondere Anforderungen an Bleiakkumulatoren

4.2.1 Batterieräume müssen so angeordnet und belüftet werden, dass eine Ansammlung zündfähiger Gasgemische vermieden wird.

4.2.2 Die beim Laden zu- und abzuführende Luftmenge muss so bemessen werden, dass die untere Explosionsgrenze eines Wasserstoff-Luftgemisches mit Sicherheit nicht überschritten wird. Durch fest installierte H_2-Messgeräte muss an geeigneten Stellen die Gaskonzentration im Batterieraum, im Abluftsystem und gegebenenfalls auch in weiteren Räumen des Fahrzeuges überwacht werden.

Ab einer H_2-Konzentration von 35 % der unteren Explosionsgrenze (UEG) muss selbsttätig ein optischer und akustischer Alarm an einer zentralen Überwachungsstelle erfolgen. Geräte für die Überwachung der H_2-Konzentration müssen baumustergeprüft sein.

4.2.3 Batterieräume dürfen keine anderen elektrischen Betriebsmittel enthalten außer den Batterien selbst. Leuchten, Sicherungen (Einzelspannungsmessanlage) und Messgeräte für H_2-Konzentration können installiert werden, wenn sie in Übereinstimmung mit den Anforderungen für H_2-haltige Atmosphäre sind (siehe IEC 60079 Empfehlungen).

4.3 Ladegeräte

4.3.1 Ladeeinrichtungen müssen so bemessen sein, dass die jeweils zulässigen Ladestromstärken nicht überschritten werden können.

4.3.2 Der Leistungsbedarf der Verbraucher ist bei der Auswahl des Ladegerätes zu berücksichtigen.

4.3.3 Die Ladegeräte sind so auszulegen, dass die Toleranzen der eingegrenzten Kennlinien und der Konstant-Kennlinien unabhängig von äußeren Störeinflüssen eingehalten werden.

4.3.4 Ladeeinrichtungen müssen selbsttätig abschalten bei:

- Ausfall der Batterieraumbelüftung (wenn zündfähiges Gasgemisch entstehen kann)
- zu hoher Temperatur des Ladegenerators/Ladegeräts
- Übertemperatur des Elektrolyts (wenn Temperaturüberwachung der Einzelzellen vorhanden ist)

4.3.5 Bei Bleiakkus ist zusätzlich zu beachten:

- Werden während der Ladung gleichzeitig Verbraucher gespeist, darf die max. Ladespannung 120 % der Nennspannung nicht überschreiten.
- Vorzugsweise sollen Ladegeräte mit IU oder IUI bzw. IWU Kennlinie verwendet werden.
- Ladeeinrichtungen müssen selbsttätig abschalten, wenn die H2-Konzentration zu hoch ist, z.B. 60 % UEG.

D. Energieverteilung

1. Verteilung und Schaltanlagen

1.1 Systeme für die elektrische Energieverteilung sind so zu gestalten, dass ein Fehler oder Ausfall eines Stromkreises nicht die Funktion anderer Stromkreise oder der Einspeisung beeinträchtigt.

1.2 Während des Normalbetriebes darf die Not-Energieverteilung durch eine Überleitung von der Haupt-Energieverteilung gespeist werden.

1.3 Schalttafeln sind so aufzustellen, dass von den Akkumulatoren zu den Schalttafeln möglichst kurze Kabellängen zu verlegen sind. Diese Kabel sollen bis zu den zugehörigen Leistungsschaltern auf getrennten Bahnen verlegt und gegen mechanische Beschädigungen geschützt werden.

1.4 Innerhalb der Schaltanlagen sind wirksame Maßnahmen gegen Spannungsverschleppung vorzusehen. Stromkreise für Schutzkleinspannung dürfen nicht mit Stromkreisen höherer Spannung in einem gemeinsamen Leiterbündel oder Kabelkanal geführt werden.

Anschlussklemmen für unterschiedliche Spannungsebenen sind getrennt anzuordnen und eindeutig zu kennzeichnen.

1.5 Schalter und Sicherungen unterschiedlicher Spannungssysteme sind innerhalb der Schalttafel räumlich zu trennen.

2. Schalt- und Schutzeinrichtungen

2.1 Jeder Stromkreis ist gegen Überlast und Kurzschluss zu schützen.

2.2 Alle Verbraucherstromkreise sind schaltbar auszuführen. Die Schaltung muss allpolig erfolgen.

2.3 Die Verwendung von Sicherungen als Überlastschutz auf Unterwasserfahrzeugen ist bis zu einer Nennstromstärke von 63 A zulässig.

2.4 Es ist eine kontinuierlich arbeitende Isolationsüberwachungseinrichtung vorzusehen.

Bei Unterschreitung eines vorgegebenen Isolationsgrenzwertes (im Allgemeinen: 50 Ω je V) muss eine entsprechende Alarmierung am Fahrstand erfolgen.

3. Gehäuse für elektrische Einrichtungen

3.1 Gehäuse für elektrische Einrichtungen, die außerhalb des Druckkörpers installiert werden, bzw. im Wasser betrieben werden, müssen vom GL genehmigt sein.

3.2 Außerhalb des Druckkörpers angeordnete druckfeste Gehäuse unter Tauchdruck sind gemäß Abschnitt 4, B.3. auszulegen und gemäß Abschnitt 2, G. zu prüfen.

Für außerhalb des Druckkörpers angeordnete Gehäuse und elektrische Bauteile, deren Festigkeit nicht ausreichend rechnerisch nachgewiesen werden kann, ist eine Druckprüfung mit einem Auslegungsdruck in Höhe des 1,1-fachen Zerstörungstauchdrucks **CDP** in einer Typprüfung durchzuführen.

4. Erdung

4.1 Hinsichtlich der Erdung der elektrischen Anlagen und Einrichtungen auf autonomen und unabhängigen operierenden Unterwasserfahrzeugen gelten die Anforderungen gemäß den GL-Vorschriften, Elektrische Anlagen (I-1-3).

4.2 Für nicht-autonome Unterwasserfahrzeuge gelten hinsichtlich der Erdung die Anforderungen gemäß Tauchanlagen und Tauchsimulatoren (I-5-1), Abschnitt 2, N.

5. Kabel und Leitungen

5.1 Kabel und Leitungen für Unterwasserfahrzeuge müssen für den vorgesehenen Einsatzzweck geeignet sein, ihre Verwendung ist vom GL zu genehmigen.

5.2 Bei der Auswahl, Bemessung und Verlegung von Kabeln und Leitungen sind die GL-Vorschriften, Elektrische Anlagen (I-1-3), Abschnitt 12 und Abschnitt 20, F. zu beachten.

5.3 Im Unterwasserfahrzeug sollen für Isolierhüllen, Schutzumhüllungen, Mäntel und Füllstoffe von Kabeln nur halogenfreie Materialien verwendet werden.

5.4 Unterwasserkabel und -leitungen müssen querwasserdicht sein und für einen äußeren hydrostatischen Überdruck ausgelegt sein, der dem 1,1-fachen Zerstörungsdruck des Druckkörpers **CDP** entspricht.

Für weitere Anforderungen bzgl. Auslegung und Prüfung siehe Anhang E.

6. Umbilicals/Versorgungsleitungen

Umbilicals können als Verbindungsglied zwischen Versorgungsschiff und Unterwasserfahrzeug Überwachungs- und Kommunikationskabel sowie Energieversorgungsleitungen enthalten.

Alle Aspekte der Auslegung und Prüfung sind in Anhang E. definiert.

7. Stromschienen, blank oder gestrichen

7.1 Allgemeines

7.1.1 Stromschienen müssen aus Kupfer, kupferummanteltem Aluminium oder korrosionsbeständigem Aluminium bestehen. Weitere Leitungsmaterialien sind mit dem GL abzustimmen und für den Belastungsfall zu prüfen.

7.1.2 Hauptsammel- und Feldverteilerschienen aus Kupfer, sind hinsichtlich ihrer zulässigen Strombelastbarkeit nach der GL-Vorschrift, Elektrische Anlagen (I-1-3), Abschnitt 5, Tabelle 5.1 zu bemessen.

Die Belastung der Schienen ist nach DIN 43 671 auszulegen. Die Schienentemperatur darf 100 °C bei Dauerstrom nicht überschreiten.

7.1.3 Parallel geführte Stromschienen gleichen Potentials sollen mindestens mit einem Abstand von einer Schienenstärke verlegt werden. Schutzleiter und Mittelleiter für Drehstromnetze sowie Ausgleichsleitungen zwischen Doppelschlussgeneratoren müssen mindestens den halben Querschnitt des Außenleiters haben.

7.2 Anschlüsse an Geräte

Der Querschnitt von Anschlussschienen und Leitungen an Geräte ist so zu wählen, dass die Geräte weder bei Nennbetrieb noch im Kurzschlussfall thermisch überlastet werden.

7.3 Schienenträger

Stromschienen sind so zu befestigen, dass sie den dynamischen Beanspruchungen im Kurzschlussfall standhalten und gegenüber anderen spannungsführenden oder geerdeten Teilen die geforderten Luft- und Kriechstrecken einhalten.

7.4 Luft- und Kriechstrecken

Luft- und Kriechstrecken sind gerätespezifisch entsprechend IEC zu bemessen.

7.4.1 Werden Stromschienen für den Anschluss von Betriebsmitteln eingesetzt, dürfen nur gekapselte oder isolierte Systeme verwendet werden.

Ausgenommen hiervon sind Schalttafeln und geschlossene elektrische Betriebsräume.

7.4.2 Das Schienensystem ist so aufzubauen, dass weder durch Bewegungen der Schienen, durch Erwärmung noch durch äußere mechanische Einflüsse Schäden an den angeschlossenen, benachbarten Betriebsmitteln oder am Schienensystem selbst auftreten können.

Der Einbau von Dehnungsbändern wird empfohlen.

Vor dem Einbau von Stromschienen-Systemen ist die mechanische Festigkeit im Kurzschlussfall unter Berücksichtigung des durch den Kurzschlussstrom hervorgerufenen Stromwärmeeinflusses nachzuweisen.

8. Elektrische Durchführungen durch Druckkörperwandungen, Unterwassersteckverbindungen

8.1 Auslegung

Bei der Auslegung ist Folgendes zu berücksichtigen:

– Die Auslegung hat für 1,1-fachen Zerstörungstauchdruck **CDP** zu erfolgen.

– Druckkörperdurchführungen müssen gas- und wasserdicht sein. Die Dichtheit muss auch gewährleistet ein, wenn angeschlossene Kabel beschädigt oder abgeschert werden.

– Sie dürfen nicht zur Durchführung von anderen Systemen verwendet werden.

– Der positive und der negative Leiter einer Energiequelle dürfen nicht durch dieselbe Durchführung in der Druckkörperwand geführt werden.

– Elektrische Leiter innerhalb der Durchführung müssen aus massivem Material sein.

8.2 Typprüfung

Elektrische Druckkörperdurchführungen und Unterwasser-Steckverbindungen müssen typgeprüft sein.

Die Typprüfung erfolgt auf Antrag im Herstellerwerk und umfasst mindestens folgende Einzelprüfungen:

– hydraulische Druckprüfung, wobei der Prüfdruck dem 2-fachen des Bauteilnenndrucks P_N entsprechen muss. Die Prüfung ist entsprechend dem in Abb. 11.1 dargestellten Prüfdruck-Zeit-Diagramm durchzuführen, wobei die Druckänderungen so schnell wie möglich erfolgen sollen.

– Gasdichtheitsprüfung mit abgeschnittenen, offenen Kabelenden. Die Prüfung kann mit Luft oder alternativ mit Helium durchgeführt werden. Der Prüfdruck muss bei Luft dem 2-fachen des Bauteilnenndrucks P_N entsprechen, bei Helium dem 1,5-fachen des Bauteilnenndrucks P_N. Die Leckrate ist durch den Hersteller zu spezifizieren und durch den GL zu genehmigen.

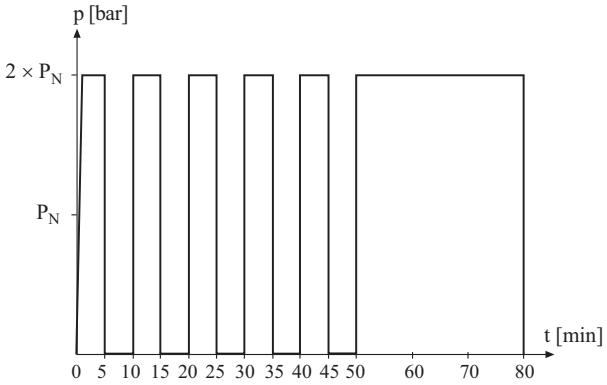


Abb. 11.1 Prüfdruck-Zeit Diagramm für Typprüfung

Bei allen Druck- und Dichtheitsprüfungen von Druckkörperdurchführungen muss die Druckbeaufschlagung jeweils von der Druckseite der Durchführung erfolgen.

Während der Druck- und Dichtigkeitsprüfung ist die Durchführung mit Nennstrom in allen Leitern zu belasten.

– Hochspannungsprüfung mit einer Wechselspannung von 1000 V plus der doppelten Nennspannung. Die Prüfung erfolgt mit Nennfrequenz und ist zwischen allen Leitern untereinander sowie zwischen den Leitern und dem Gehäusekörper über je 1 Minute durchzuführen. Sie erfolgt in ungestecktem Zustand. Der Verguss von Steckergehäusen u. ä. ist in dem Maß zulässig, wie dies der Hersteller im zugehörigen Datenblatt zwingend vorschreibt.

– Messung des Isolationswiderstandes:

  Der Mindestwert zwischen den Leitern bzw. diesen und dem Gehäusekörper soll bei der Typprüfung 5 MOhm betragen, bei den periodischen Klassenbesichtigungen soll der Mindestwert 2 MOhm betragen.

  Die Isolationsmessung ist mit einer Messeinrichtung mit 500 V Gleichspannung durchzuführen.

  Bei nasssteckbaren Verbindungen ist der Mindestisolationswiderstand auch nach einer Steckung in Salzwasser nachzuweisen.

– Sichtprüfung an Hand der Herstellungsunterlagen

8.3 Einzelprüfung nach der Fertigung (Stückprüfung)

Jede gefertigte elektrische Druckkörperwanddurchführung und jede Steckverbindung ist nach der Fertigung durch den Hersteller einer Stückprüfung zu unterziehen.

Sie umfasst folgende Prüfungen:

– hydraulische Druckprüfung beim Hersteller gemäß Abb. 11.2 mit 1,5-fachem Bauteilnenn-

druck P_N und gegebenenfalls im Rahmen einer Gesamterprobung mit Prüftauchdruck **TDP**.

– Hochspannungsprüfung

– Messung des Isolationswiderstandes

Über die Durchführung der Prüfung ist ein Abnahmeprüfzeugnis des Herstellers auszustellen.

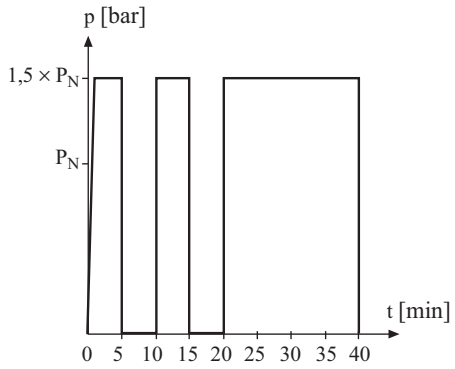


Abb. 11.2 Prüfdruck-Zeit Diagramm für Einzelprüfungen

E. Elektrische Betriebsmittel

1. Elektrische Maschinen

1.1 Elektrische Maschinen müssen den GL-Vorschriften, Elektrische Anlagen (I-1-3), Abschnitt 20, A. entsprechen.

1.2 Generatoren sowie alle elektrischen Propellermotoren sollten mit einer Stillstandsheizung ausgerüstet werden.

1.3 Maschinen für elektrische Propellerantriebe mit Leistungen über 100 kW sind mit Überwachungseinrichtungen gemäß den GL-Vorschriften Elektrische Anlagen (I-1-3), Abschnitt 13 auszurüsten.

Bei Verwendung von Gleichstrommotoren dürfen Erregerstromkreise, deren Ausfall den Betrieb gefährden könnte, nur gegen Kurzschluss geschützt werden.

1.4 Für die Wicklungen der elektrischen Maschinen ist mindestens Isolationsklasse F auf Unterwasserfahrzeugen vorzusehen.

1.5 Eine automatische Leistungsbegrenzung der Antriebsmotoren muss dafür sorgen, dass das Bordnetz nicht überlastet wird.

Die Rückleistung bei Umsteuerung, Reduzierung und Abschaltung ist zu berücksichtigen und auf zulässige Höchstwerte zu begrenzen.

1.6 Über die Prüfungen gemäß den GL-Vorschriften, Elektrische Anlagen (I-1-3), Abschnitt 20, A.4 hinaus sind die nachfolgend aufgeführten elektrischen Maschinen in Gegenwart eines Besichtigers des GL zu prüfen:

– Generatoren und Motoren für elektrische Propellerantriebe

– Motoren für Ruderantriebsanlagen und Ankerwinden

– alle übrigen Motoren für den Antrieb von Maschinen und Einrichtungen, die für die Sicherheit und Manövrierfähigkeit des Unterwasserfahrzeugs erforderlich sind

2. Innenbeleuchtung

2.1 In Betriebs- und Arbeitsräumen, Sicherheits- und Kontrollstationen sowie in Aufenthaltsbereichen ist eine Normal- und eine Notbeleuchtung vorzusehen. Notleuchten sind zur leichteren Erkennung als solche zu markieren.

2.2 Die Beleuchtung ist so auszulegen und anzuordnen, dass alle wichtigen Instrumente und Kennzeichnungen abgelesen und erforderliche Bedienungen sicher durchgeführt werden können.

Die Innenbeleuchtung ist soweit wie möglich blendfrei zu gestalten.

2.3 Sämtliche Leuchten sind so anzubringen, dass brennbare Bauteile nicht durch die erzeugte Wärme entzündet und dass sie selbst nicht beschädigt werden.

2.4 Die Notbeleuchtung hat unabhängig von der normalen Beleuchtung zu sein. Das bezieht sich sowohl auf die Stromerzeugung als auch auf das Verteiler- und Kabelnetz.

Die Notbeleuchtung muss sich nach Ausfall der Hauptbeleuchtung automatisch einschalten. Schalter für Notbeleuchtungen dürfen nur in Abstimmung mit dem GL bestimmte Teilbereiche abschalten, z.B. im Steuerstand.

Abschnitt 12

Automations-, Kommunikations-, Navigations- und Ortungseinrichtungen

A. Allgemeines

1. Die folgenden Vorschriften ergänzen die GL-Vorschriften, Automation (I-1-4) und sind anzuwenden für den Bau und Einsatz von Einrichtungen zur Überwachung, Steuerung, Regelung und Kommunikation in Unterwasserfahrzeugen, sowie für Funk-, Navigations- und Ortungseinrichtungen auf Unterwasserfahrzeugen, die unter Aufsicht und nach den Vorschriften des GL gebaut werden.

Bei Unterwasserfahrzeugen mit Taucherausstieg sind für diesen Bereich hinsichtlich der Einrichtungen zur Automation, Steuerung, Überwachung und Kommunikation auch die Anforderungen gemäß Tauchanlagen und Tauchsimulatoren (I-5-1) zu berücksichtigen.

2. Die dem GL einzureichenden Unterlagen sind in Abschnitt 2, E. dargestellt.

3. Die erforderlichen Prüfungen und Kennzeichnungen sind Abschnitt 2, G. und H. zu entnehmen.

B. Automationseinrichtungen

1. Grundsätze für die Auslegung

1.1 Allgemeine Grundsätze

1.1.1 Alle Einrichtungen zur automatischen Überwachung, Steuerung und Regelung der Betriebsparameter eines Unterwasserfahrzeugs sind so auszulegen und zu bauen, dass sie unter den für das Fahrzeug definierten Auslegungs- und Umweltbedingungen bestimmungsgemäß arbeiten.

1.1.2 Rechnergestützte Betriebsführungssysteme für das Unterwasserfahrzeug sind zulässig.

Einzelheiten über Umfang und Redundanz der Anlagen sind mit dem GL abzustimmen.

Die Anlagen sind vom GL zu genehmigen und es sollten baumustergeprüfte Komponenten eingesetzt werden. Die Prüfung umfasst sowohl die einzusetzenden Geräte (Hardware) als auch die dazugehörigen Rechnerprogramme.

1.1.3 Die Automationseinrichtungen auf Unterwasserfahrzeugen sind in Anlehnung der GL-Vorschriften, Automation (I-1-4) auszuführen. Es sind außerdem zu beachten:

1.1.4 Alle Überwachungs-, Steuerungs- und Regeleinrichtungen sind eindeutig zu beschriften und zu kennzeichnen.

1.1.5 Anzeigeinstrumente und synoptische Anzeigen sind so zu gestalten und zu beschriften, dass eine schnelle und eindeutige Ablesung möglich ist.

1.1.6 Ein beliebig eintretender Fehler oder Ausfall in der Automationseinrichtung darf nicht zu einem kritischen Betriebszustand führen.

1.1.7 Automationseinrichtungen sind soweit möglich gegen Fehlbedienung zu schützen.

1.1.8 Automationseinrichtungen müssen in der Lage sein, die vorgegebenen Betriebsparameter des Unterwasserfahrzeugs einzuhalten.

1.1.9 Bei allen unzulässigen Abweichungen von Betriebsparametern muss im Fahrstand automatisch Alarm erfolgen (optisch und akustisch), ferner bei automatischen Umschaltungen in der Stromversorgung sowie bei Fehlern im Steuerungs-, Regelungs- und Überwachungssystem. Eine weitere Alarmierung ist für die Überwachung der Fahrzeugatmosphäre vorzusehen. Das Quittieren des akustischen Alarms darf nur für diesen aktuellen Fehlerfall möglich sein. Eine generelle Alarmunterdrückung ist nicht gestattet.

1.1.10 Zusätzlich zu elektronischen Steuerungs-, Regelungs- und Überwachungseinrichtungen müssen unabhängige Sicherheitseinrichtungen vorhanden sein, die verhindern, dass ein Fehler in einem System eine fehlerhafte Reaktion in einem anderen System nach sich zieht.

1.1.11 Automatisch arbeitende Steuerungs- und Regeleinrichtungen müssen jederzeit auf manuellen Betrieb umgeschaltet werden können.

1.1.12 Die Ansprechwerte der Automationseinrichtungen sind so aufeinander abzustimmen, dass bei Erreichen eines Grenzwertes zunächst eine Meldung erfolgt und nach Ablauf einer gewissen Warnzeit bzw. wenn die Prozessvariable sich mit einer vorgegebenen Geschwindigkeit weiter ändert, die Sicherheitseinrichtungen ansprechen. Der Grenzwert für die Meldung ist so festzulegen, dass bei Erreichen dieses Grenzwertes noch keine akute Gefährdung vorliegt.

1.1.13 Das Gesamtverhalten der Automationseinrichtungen muss auf die Totzeiten bzw. Zeitkonstanten der Geräte bzw. Komponenten im System abgestimmt sein (z.B. Berücksichtigung von Länge und Querschnitt des Rohrleitungssystems oder Messzeiten von Gas-Analysegeräten).

1.1.14 Für elektronische Systeme wird als Maßstab für die Störfestigkeit IEC 60533 (Electromagnetic compatibility of electric and electronic installation in ships) zugrunde gelegt.

1.1.15 Die Funktionsfähigkeit von wichtigen Anzeigelampen muss betriebsmäßig prüfbar sein.

1.2 Aufbau

1.2.1 Elektronische Automationseinrichtungen sollen aus leicht auswechselbaren Baugruppen, vorzugsweise nach dem Einschubsystem, aufgebaut sein. Die Baugruppen sind weitgehend zu vereinheitlichen. Die Anzahl der Baugruppentypen ist aus Gründen der Reserveteilhaltung klein zu halten.

1.2.2 Steckkarten müssen zum Schutz gegen unbeabsichtigtes Vertauschen eindeutig gekennzeichnet oder codiert sein.

1.2.3 Es müssen Maßnahmen getroffen werden, die eine Betauung innerhalb von elektronischen Einrichtungen auch in deren ausgeschaltetem Zustand verhindern. Eine Stillstandsheizung wird empfohlen.

1.2.4 Automationseinrichtungen sollen vorzugsweise ohne Zwangsbelüftung betrieben werden können. Die Funktion einer eventuellen Kühleinrichtung ist zu überwachen.

1.2.5 Bauteile müssen wirksam befestigt sein. Mechanische Beanspruchungen von Drähten und Lötverbindungen durch Vibrationen und Erschütterungen sind zu minimieren.

1.2.6 Der Aufbau der Anlagen und Geräte soll einfach und übersichtlich sein. Gute Zugänglichkeit für Mess- und Reparaturarbeiten ist zu gewährleisten.

1.2.7 Eingabegeräte wie Grenzwertschalter, Messfühler, Messumformer und Einlesegeräte sowie Stellglieder, Feuerwarnanlagen, Fernsteuerungen für Antriebsanlagen, Maschinenalarmanlagen und kombinierte Messdaten- und Störwertregistrierungseinrichtungen sind gemäß 1.5 zu prüfen.

1.3 Schaltungstechnik

1.3.1 Überwachungs-, Steuerungs- und Regeleinrichtungen für sicherheitsrelevante Funktionen müssen nach dem Fail-Safe Prinzip aufgebaut sein, d. h. dass Fehler wie Kurz-/Erdschluss bzw. Unterbrechung keine für Personal und/oder Anlage gefährlichen Zustände nach sich ziehen können. Dabei ist davon auszugehen, dass nur Einfachfehler auftreten.

Der Ausfall einer Baugruppe, z.B. durch einen Kurzschluss, darf keine Beschädigung weiterer Baugruppen zur Folge haben.

1.3.2 In speicherprogrammierbaren Steuerungen sollen die elektrischen Werte der Signalgeber den Sicherheitsanforderungen für Befehls- und Steuergeräte entsprechen. Das heißt vornehmlich:

- Ingangsetzen mit H-Pegel, also durch an Spannung legen über Schließer
- Stillsetzen mit L-Pegel, also durch Wegnehmen der Spannung über Öffner

Hiervon unberührt bleiben die Forderungen nach 1.3.1.

1.3.3 Befehls- und Steuergeräte für Sicherheitsfunktionen, z.B. Notstopptaster, sollen unabhängig von einer speicherprogrammierbaren Steuerung sein und direkt auf das Ausgabegerät wirken, z.B. Stopp-Magnetventil. Sie sind gegen unbeabsichtigtes Betätigen zu sichern.

1.3.4 Speicherprogrammierbare Steuerungen sollen rückwirkungsfrei sein und im Fehlerfall keine Störungen in programmunabhängigen Sicherheitsverriegelungen und sicherheitstechnischen Fortschaltungen für feste Unterprogramme bewirken.

1.3.5 Frei zugängliche Potentiometer und andere Bauteile, die für einen Abgleich oder eine Arbeitspunkteinstellung vorgesehen sind, müssen in der Betriebsstellung arretiert werden können.

1.3.6 Schnittstellen mit mechanischen Schaltgeräten müssen so ausgeführt sein, dass Kontaktprellen zu keiner nachteiligen Beeinflussung der Anlagenfunktion führt.

1.3.7 Leiterbahnen als Teil von Stromkreisen, welche sich auch außerhalb des Gehäuses, in dem die Platinen untergebracht sind, erstrecken, müssen bedingt kurzschlussfest sein, d.h. bei einem extremen Kurzschluss dürfen nur die vorgesehenen Schutzeinrichtungen ansprechen, ohne die Leiterbahnen zu zerstören.

1.3.8 Durch kurzzeitige Überspannungen im Bordnetz, die durch Schaltvorgänge auftreten können, dürfen die Geräte nicht beschädigt werden. Wenn nicht andernorts näher spezifiziert, sind an der Einspeisung des nicht-autonomen Unterwasserfahrzeugs leitungsgebundene Störspannungen sowie schnelle transiente Störgrößen gemäß IEC 61000 4-5 Schärfegrad 3 zu berücksichtigen.

Werden Anlagen von statischen Umformern gespeist, ist ggf. mit periodisch auftretenden Spannungsimpulsen zu rechnen. Die Amplitudengröße ist von der Art des Umformers abhängig und muss im Einzelfall untersucht werden.

Ein für die Anlage angepasster Überspannungsschutz wird empfohlen.

1.4 Energieversorgung

Für die Speisung von Führungs-, Überwachungs- und Schiffssicherheitsanlagen müssen die Forderungen gemäß den GL-Vorschriften, Elektrische Anlagen (I-1-3), Abschnitt 9 eingehalten werden.

1.4.1 Netzgeräte für Automationseinrichtungen müssen mindestens einen Kurzschlussschutz und einen Überlastschutz haben, sofern dadurch kein unsicherer Betriebszustand des Fahrzeugs entstehen kann.

1.4.2 Die Energieversorgung ist zu überwachen und der Ausfall ist zu alarmieren.

1.4.3 Die Automationseinrichtungen müssen unter den in den GL-Vorschriften, Elektrische Anlagen (I-1-3), Abschnitt 1 genannten Spannungs- und Frequenzabweichungen sicher betrieben werden können.

1.5 Prüfungen

Automationseinrichtungen müssen vom GL genehmigt werden, vorzugsweise sind baumustergeprüfte Komponenten einzusetzen.

Art und Umfang der Prüfungen werden vom GL im Einzelfall festgelegt, siehe auch Abschnitt 2, F.12.

Baumusterprüfungen sind entsprechend den GL-Vorschriften VI – Ergänzende Vorschriften und Richtlinien, Teil 7 – Richtlinien für die Durchführung von Baumusterprüfungen durchzuführen.

2. Navigation und Manövrieren

Grundsätzlich sind hierfür auch die Vorschriften des Flaggenstaates bzw. der zuständigen Behörden zu berücksichtigen.

2.1 Fahrstand

2.1.1 Zur Überwachung und Steuerung des Unterwasserfahrzeugs ist ein Fahrstand vorzusehen, in dem alle wichtigen Daten über das Fahrzeug, die Innenraumbedingungen und die Betriebszustände der Nebenanlagen angezeigt werden, sowie alle für den Betrieb des Unterwasserfahrzeugs erforderlichen Regel- und Kontrollorgane einschließlich der Funk-, Video- und der Kommunikationseinrichtungen angeordnet sind.

2.1.2 Die Instrumente zur Überwachung, Steuerung- und Regelung des Unterwasserfahrzeugs sind im Fahrstand nach sicherheitstechnischen und ergonomischen Gesichtpunkten zusammenzufassen und anzuordnen.

2.1.3 Eingeleitete Steuerungsfunktionen sind, soweit möglich und sinnvoll, optisch am Fahrpult bzw. an den Schalttafeln anzuzeigen.

2.1.4 Im Bereich des Fahrstandes dürfen keine Anlagen oder Einrichtungen installiert werden, die die Überwachung und Steuerung des Unterwasserfahrzeugs beeinträchtigen.

2.2 Fahrstandsausrüstung

2.2.1 Im Fahrstand des Unterwasserfahrzeugs sind für die jeweilige Aufgabenerfüllung folgende Anzeigeinstrumente vorzusehen:

2.2.2 Navigations- und Fahrtanzeigen

- Navigationsradar-Sichtgerät
- Positionsbestimmungs-System (z.B. GPS)
- Hindernis-Meldegerät (Echolot oder Sonargerät)
- Video-Kamera
- externe Kommunikation (UKW)
- interne Kommunikation
- Kompassanzeige
- Tiefenanzeige

  2 Tiefenanzeigen, die unabhängig voneinander arbeiten und nicht an derselben Druckkörperwanddurchführung angeschlossen sind. Die Skalen der Tiefenanzeigen sollen mindestens 20 % über die Nenntauchtiefe **NDD** hinausgehen. Die Instrumente sollen eine Anzeigegenauigkeit von 1 % bei maximaler Tauchtiefe haben und durch Druckschwankungen nicht maßgeblich beeinflusst werden. Die Nenntauchtiefe **NDD** ist auf der Anzeige deutlich zu kennzeichnen.

  Für nicht-autonome Unterwasserfahrzeuge mit Tragseil ist eine Tiefenanzeige ausreichend.
- Krängungs- und Trimmanzeige
- Fahrt- und Distanzanzeiger
- Ruderlagenanzeige (Seiten- und Tiefenruder)
- Drehzahl- und Drehrichtungsanzeiger des Hauptantriebspropellers
- Schubrichtungsanzeiger für Propellerantriebe
- Positions- und Signallaternen-Überwachung
- Füllstandsanzeigen für Regel- und Trimmtanks
- Lageanzeige für verschiebbare Gewichte, soweit diese vorhanden sind
- Zeituhr

2.2.3 Fahrzeugatmosphäre

- die in Abschnitt 13 aufgeführten Anzeigen und Alarme zur Überwachung der Fahrzeugatmosphäre

2.2.4 Elektrische Einrichtungen

- Strom- und Spannungsanzeigen der Generatoren
- Strom- und Spannungsanzeigen der Batterien
- Ob eine Kapazitätsanzeige für die Batterien vorzusehen ist, wird im Einzelfall vom GL festgelegt.
- Stromanzeigen von Propellermotoren und wichtigen E-Antrieben
- Anzeigen über Stromversorgung/-verteilung
- Anzeigen der Isolationsüberwachung

2.2.5 Sicherheitsanlagen/Anzeigen

– Maschinenalarmanlagen
– Feuermelde- und Feueranzeigeanlage
– Bilgenalarmierung
– Generalalarm
– Druckanzeige für alle Druckluft-Vorratsbehälter
– Druckanzeige für alle Sauerstoff-Vorratsbehälter
– Druckanzeigen für Hydraulikanlagen

2.3 Führungs- und Steuerungseinrichtungen

2.3.1 Im Fahrstand des Unterwasserfahrzeugs sind mindestens folgende Einrichtungen vorzusehen:

– Steuerung der Fahrzeugatmosphäre im Hinblick auf Druck, Temperatur, Luftfeuchte, Sauerstoff-Zudosierung und Luftumwälzung
– Steuerung der Antriebsanlage
– Steuerung der Seiten- und Tiefenruderanlagen
– Steuerung der Schub-Propellerantriebe
– Steuerung des Anblasens von Tauch- und Regelzellen
– Steuerung von Trimm- und Ballastanlage
– Steuerung von Lenzeinrichtungen
– Notstop-Einrichtungen
– Steuerung der elektrischen Stromversorgung
– Steuerung von Nebenanlagen wie z.B. Hydraulikaggregate u.ä.

2.3.2 Führungs- und Steuerfunktionen sind, soweit möglich und sinnvoll, durch Anzeigen auf Bildschirmen bzw. Blindschaltbilder am Fahrpult darzustellen.

3. Sensoren und Aktuatoren

Alle Einrichtungen zur Erfassung der Betriebsbedingungen von Unterwasserfahrzeugen sowie die zugehörigen Aktuatoren sind vom GL zu genehmigen und sollten baumustergeprüft sein.

4. Datenübertragungseinrichtungen

4.1 Bei Verwendung von Datenkabeln ist zu gewährleisten, dass die spezifizierte Datenmenge pro Zeiteinheit unter allen Betriebsbedingungen störungsfrei übertragen wird.

4.2 Die Navigation und Steuerung des Unterwasserfahrzeugs muss auch bei Ausfall der Datenleitung möglich sein.

4.3 Falls sekundäre „Daten für Nutzlasten“ auf Datenleitungen übertragen werden sollen, sind diese unabhängig von den Datenleitungen für den Betrieb des Unterwasserfahrzeugs zu übertragen.

C. Kommunikationseinrichtungen

1. Allgemeines

1.1 Unterwasserfahrzeuge sind abhängig von ihrer Art, Größe und des Aufgaben- bzw. Einsatzbereiches mit verschiedenen Einrichtungen zur internen und externen Kommunikation auszurüsten.

1.2 Für Unterwasserfahrzeuge mit Taucherausstieg gelten für die Kommunikation zwischen Taucher im Wasser und Taucher in der Taucherschleuse sowie zwischen Taucherausstieg und Fahrstand des Unterwasserfahrzeugs die Anforderungen gemäß Tauchanlagen und Tauchsimulatoren (I-5-1), Abschnitt 2, O.

1.3 Antennen und Schwinger sind fest zu installieren und so anzuordnen, dass eine gegenseitige Beeinflussung ausgeschlossen ist.

2. Interne Kommunikationseinrichtungen

2.1 Unterwasserfahrzeuge mit mehr als einem Aufenthaltsraum sind mit einer Gegensprech-Einrichtung auszurüsten.

2.2 Zwischen Fahrstand und Rudermaschinenraum sowie zwischen Fahrstand und Antriebs-Maschinenraum ist eine netzunabhängige Telefonverbindung vorzusehen.

3. Kommunikation über Wasser

3.1 Autonome Unterwasserfahrzeuge sind mindestens mit einem Zwei-Kanal-Sender/Empfänger auszurüsten, wobei ein Kanal auf dem Sicherheitskanal 16-VHF arbeiten muss und der andere als "Arbeitskanal" zur Verständigung zwischen Begleitfahrzeug und Unterwasserfahrzeug dient.

3.2 Unabhängige Unterwasserfahrzeuge sind ferner mit einer zusätzlichen Sprechfunkanlage auszurüsten.

3.3 Auf nicht-autonomen Unterwasserfahrzeugen ist zwischen dem Unterwasserfahrzeug und dem Fahrstand auf dem Versorgungsfahrzeug eine Sprechverbindung vorzusehen. Diese Sprechanlage muss über Lautsprecher betrieben werden und am Fahrstand auf dem Versorgungsschiff auf Dauerempfang geschaltet sein. Sie muss ferner mit selbst rückstellenden Schaltern zur Umkehr der Sprechrichtung ausgerüstet sein.

4. Kommunikation unter Wasser

4.1 Autonome Unterwasserfahrzeuge sind mindestens mit einer Ein-Kanal-Seitenband-Unterwassertelefonanlage (UT-Anlage) auszurüsten. Die UT-Anlage muss mindestens noch eine einwandfreie Verständigung mit dem Versorgungsschiff ermöglichen, wenn sich dies in einer Entfernung entsprechend der zweifachen Nenntauchtiefe des Unterwasserfahrzeugs befindet.

4.2 Unabhängige Unterwasserfahrzeuge sind mit einer Zwei-Kanal-Seitenband T-Anlage auszurüsten.

4.3 Für nicht-autonome Unterwasserfahrzeuge gilt 3.3.

5. Kommunikationseinrichtungen für den Notfall

5.1 Unabhängige Unterwasserfahrzeuge sind mit notstromversorgten Funksprecheinrichtungen sowohl für Unterwasser- als auch Überwasserfahrt auszurüsten. Dabei muss die Not-Funksprecheinrichtung mindestens über einen VHF-Sender/Empfänger verfügen, der auf dem Sicherheitskanal 16 arbeitet. Die Reserve-UT-Anlage sollte eine Mindestreichweite entsprechend der zweifachen Nenntauchtiefe des Unterwasserfahrzeugs aufweisen.

5.2 Auf autonomen Unterwasserfahrzeugen muss die UT-Anlage von der Notstromquelle gespeist werden und auch als Reserve-Sprechanlage bei Überwasserfahrt genutzt werden können.

5.3 Auf nicht-autonomen Unterwasserfahrzeugen ist zusätzlich zur Hauptsprechanlage eine netzunabhängige Telefonverbindung vorzusehen.

D. Navigations- und Ortungseinrichtungen

1. Allgemeines

1.1 Grundsätzlich sind hierfür auch die Vorschriften des Flaggenstaates bzw. der zuständigen Behörden zu berücksichtigen.

1.2 Alle für die Sicherheit des Unterwasserfahrzeugs und seiner Besatzung erforderlichen Navigations- und Ortungseinrichtungen, die elektrisch betrieben werden, sind an die Notstromversorgung des Unterwasserfahrzeugs anzuschließen. Ihr Betriebszustand bzw. die Betriebsbereitschaft ist am Fahrstand anzuzeigen.

1.3 Siehe auch diesbezügliche Einrichtungen in den Abschnitten 6, C.4. und 15, B.6.

2. Lichter, Signalkörper, Schallsignale

2.1 Unterwasserfahrzeuge sind mit geeigneten Signaleinrichtungen (z.B. Blinkleuchte) auszurüsten, die ein schnelles Auffinden des aufgetauchten Unterwasserfahrzeugs ermöglichen.

2.2 Unabhängige und autonome Unterwasserfahrzeuge die am Schiffs-/Seeverkehr teilnehmen sind mit Lichtern, Signalkörpern und Schallsignalen gemäß den Internationalen Regeln von 1972 zur Verhütung von Zusammenstößen auf See (**COLREGS 1972**) auszurüsten.

3. Positionsanzeigen, Funkpeiler, Ortungsgeräte

3.1 Unterwasserfahrzeuge sind je nach Betriebsart und Einsatzzweck mit geeigneten Einrichtungen zur Ortung bei Fahrten an der Wasseroberfläche auszurüsten.

3.2 Zur besseren Sichtung des Unterwasserfahrzeugs an der Wasseroberfläche sollten Unterwasserfahrzeuge mit Kontrastfarbanstrichen oder Reflektionsmaterial versehen werden, wobei vorzugsweise die Farben orange, gelb oder rot zur Anwendung kommen sollten.

Abschnitt 13

Lebenserhaltungssysteme

A. Allgemeines

1. Die folgenden Vorschriften gelten für alle Anlagenteile und Komponenten, die erforderlich sind, um für die Insassen eines Unterwasserfahrzeugs eine lebenserhaltende und sichere Umgebung zu gewährleisten.

2. Die dem GL zur Genehmigung einzureichenden Unterlagen sind in Abschnitt 2, E. dargestellt.

3. Die erforderlichen Prüfungen und Kennzeichnungen sind Abschnitt 2, F. und G. zu entnehmen.

B. Grundsätze für die Auslegung

1. Überlebenszeitraum

1.1 Bemannte Unterwasserfahrzeuge sind mit Einrichtungen zur Herstellung, Erhaltung und Überwachung von lebenserhaltenden Bedingungen im Fahrzeuginneren auszurüsten. Die Einrichtungen sind dabei so auszulegen, dass die erforderlichen Bedingungen über die vorgesehene maximale Einsatzzeit von Unterwasserfahrzeugen hinaus für mindestens folgende Überlebenszeiträume eingehalten werden können:

– nicht-autonome Unterwasserfahrzeuge 72 h
– autonome Unterwasserfahrzeuge 96 h
– unabhängige Unterwasserfahrzeuge 168 h

Bei nicht-autonomen Unterwasserfahrzeugen kann in Abhängigkeit vom vorgelegten und vom GL genehmigten Rettungskonzept von den oben genannten Überlebenszeiträumen abgewichen werden.

Wenn die Voraussetzungen nach Abschnitt 16, A.2. erfüllt sind, kann der GL den Überlebenszeitraum nach Abschnitt 16, B.4.2 genehmigen.

1.2 Bei Unterwasserfahrzeugen mit Taucherausstieg gelten für den Bereich des Taucherausstiegs und der gegebenenfalls vorhandenen Druckkammern die Anforderungen gemäß Kapitel 1 – Tauchanlagen und Tauchsimulatoren.

2. Es sind Einrichtungen zur Umwälzung und Aufbereitung der Umgebungsluft im Unterwasserfahrzeug vorzusehen, so dass in den einzelnen Räumen der Sauerstoffpartialdruck im Bereich von 0,19 bis 0,23 bar und der CO_2-Partialdruck unter 0,01 bar gehalten werden kann. Ferner sind Einrichtungen zur Reinigung und Klimatisierung der Umgebungsluft vorzusehen. Die Grenzwerte für die zulässigen Luftverunreinigungen sind im Einzelfall mit dem GL abzustimmen. Folgender Hinweis kann der Auslegung dienen:

Hinweis

Parameter zur Auslegung von Lebenserhaltungssystemen (pro Person bei 20 °C und 1013 mbar):

– *O_2-Bedarf: 15 l/h (ruhend); 40 l/h (arbeitend); 26 l/h (Durchschnitt); bei Touristik- Unterwasserfahrzeugen: 28,3 l/h (Durchschnitt)*
– *CO_2-Produktion: 22 l/h (Durchschnitt); bei Touristik-Unterwasserfahrzeugen: 26,4 l/h (Durchschnitt)*
– *Feuchtigkeit: 50 +/- 20 %*
– *Hitzeproduktion: 265 kJ/h*

Rauchen, Feuer und offenes Licht ist durch entsprechende Hinweise und organisatorische Maßnahmen zu verhindern.

3. Es sind Einrichtungen vorzusehen, um die gesamte Besatzung für die in 1. genannten Zeiträume mit Nahrungsmitteln und Wasser versorgen und Abfälle und Abwasser beseitigen zu können.

4. Für jede Person an Bord ist ein Notatemgerät bzw. eine Atemmaske zum Anschluss an eine Not-Atemluftanlage vorzusehen. Zusätzlich ist mindestens ein Ersatzgerät mitzuführen.

5. Es sind geeignete Einrichtungen zur Überwachung der Umgebungsbedingungen im Fahrzeuginneren vorzusehen. Bei unzulässigen Abweichungen von den in 2. genannten Werten für den O_2- und CO_2-Partialdruck muss automatisch eine Alarmierung der Besatzung erfolgen.

C. Luftversorgung

1. Zu- und Abluftanlage

1.1 Die Belüftung des Fahrzeugs bei Überwasserfahrt soll über einen Luftmast erfolgen der so auszuführen und anzuordnen ist, dass das Eindringen von Spritz- und Schwallwasser vermieden wird, vgl. Abschnitt 6, C.

1.2 Für die Absaugung der Batteriegase beim Laden der Batterien, sowie eine erforderliche Zeit davor und danach, aus im Druckkörper liegenden Batterieräumen ist ein motorgetriebener Lüfter vorzusehen, wobei eine Beeinflussung der Zuluft durch entsprechende Anordnung zu vermeiden ist. Die Entlüftung von Batterieräumen ist von anderen Lüftungsanlagen zu trennen.

Bei kleinen Batterieanlagen ist nach Rücksprache mit dem GL auch eine natürliche Belüftung des Batterieraums möglich.

2. Lufterneuerung

2.1 Sauerstoffanlage

2.1.1 Zur Ergänzung des verbrauchten Sauerstoffs in der Fahrzeugatmosphäre ist eine Sauerstoffanlage vorzusehen.

2.1.2 Für die Auslegung der Sauerstoffanlage ist ein Sauerstoffverbrauch entsprechend B.2. zugrunde zu legen.

2.1.3 Die Lagerung des Sauerstoffs ist mindestens in zwei getrennten Flaschengruppen möglichst außerhalb des Druckkörpers vorzunehmen. In diesem Fall sind die Sauerstoffflaschen wie außen liegende Behälter und Apparate auszulegen.

Sowohl bei Lagerung außerhalb wie auch innerhalb des Druckkörpers ist für das System ein Berechnungsdruck PR gleich dem zulässigen Betriebsüberdruck PB zugrunde zu legen.

Bei Lagerung der Sauerstoffflaschen im Druckkörper, ist das Volumen einer Flasche so zu beschränken, dass bei komplettem Austritt ihres Inhalts der Druck nicht mehr als 1 Atmosphäre und der O_2-Gehalt nicht über 25 Volumen-% steigt. Wenn das nicht eingehalten werden kann, sind die Flaschen außerhalb des Druckkörpers anzuordnen.

2.1.4 Von jeder Sauerstoff-Flaschengruppe ist eine separate Leitung in das Fahrzeuginnere zu führen.

2.1.5 Manuell zu bedienende Sauerstoff-Dosiersysteme sind mit einem Flaschenabsperrventil und einem Mengenregler mit Durchflussanzeige auszurüsten.

2.1.6 Sofern die Dosiereinrichtung nicht redundant ausgeführt ist, ist diese mit einer manuell zu bedienenden Umgehung auszurüsten.

2.2 CO_2-Absorption

2.2.1 Zur Regenerierung der Atemluft ist eine CO_2-Absorptionsanlage vorzusehen, die in der Lage ist, den CO_2-Partialdruck im Bereich von 0,005 bis 0,01 bar zu halten. Ferner soll am Ende der in B.1. genannten Überlebenszeit noch mindestens ein CO_2-Partialdruck von 0,02 bar im Fahrzeuginnern gehalten werden können.

2.2.2 Für die Auslegung der CO_2-Absorptionsanlage sind die Hinweise entsprechend B.2. zu beachten.

2.2.3 Die CO_2-Absorptionsanlage ist mit einem Staubfilter aus nichtbrennbarem Material auszurüsten.

2.3 Feuchtigkeit

Die relative Luftfeuchtigkeit ist während des Betriebes durch geeignete Maßnahmen in für die Besatzung angenehmen Grenzen zu halten, vergleiche die Hinweise in B.2.

3. Not-Atemluftversorgung

3.1 Notatemluftanlagen/-geräte sind so auszulegen, dass für alle Besatzungsmitglieder im Notfall ausreichend Atemluft zur Verfügung steht, während das Unterwasserfahrzeug aus der Nenntauchtiefe auftauchen bzw. geborgen werden kann, mindestens jedoch für eine Stunde.

Die Notatemluftgeräte müssen einen gasdichten Augenschutz beinhalten.

3.2 Die Einrichtungen zur Notatemluftversorgung sind so auszulegen und anzuordnen, dass im Notfall jedes Besatzungsmitglied innerhalb kürzester Zeit ein Atemgerät erreicht und zum Ausstieg des Unterwasserfahrzeuges gelangen kann, ohne vorher das Atemgerät abzunehmen.

3.3 Die erforderliche Anzahl von Reservegeräten ist in Abhängigkeit von der Personenzahl an Bord mit dem GL abzustimmen.

3.4 Bei Verwendung von Atemluftkompressoren ist die Qualität der erzeugten Druckluft z.B. nach EN 12021 nachzuweisen.

4. H_2-Überwachung

4.1 Bei zu erwartender H_2-Entwicklung ist der Wasserstoffgehalt in den Batterieräumen, im Abluftsystem und gegebenenfalls auch in anderen Räumen kontinuierlich zu überwachen. Die Lage der Messpunkte im Fahrzeug ist nach den örtlichen Gegebenheiten festzulegen.

4.2 Das Überschreiten des Gaskonzentrationswertes von 35 % der unteren Explosionsgrenze ist optisch und akustisch im Fahrstand zu melden.

Bei Erreichen von 60 % der unteren Explosionsgrenze sind Lade- bzw. Entladevorgänge selbsttätig zu unterbrechen.

Steigt auch nach der zwangsweisen Abschaltung die H_2-Konzentration, z.B. durch Nachgasen der Batterien weiter an, so ist unverzüglich aufzutauchen und für eine Fremdbelüftung zu sorgen.

4.3 Die Aufforderung zum sofortigen Auftauchen ist am Fahrstand optisch und akustisch zu melden.

Eine Quittierung der optischen Anzeige darf erst nach dem Auftauchen und nach ausreichender Frischluftzufuhr möglich sein.

4.4 Die Mess- und Alarmeinrichtungen für die Überwachung der H_2-Konzentration müssen vom GL baumustergeprüft sein.

4.5 Die Wasserstoff-Messanlage ist auch von der Notstromversorgung zu speisen.

D. Überwachungseinrichtungen

1. Am Fahrstand des Unterwasserfahrzeugs entsprechend Abschnitt 12, B.2. sind zur Überwachung der Umgebungsbedingungen im Fahrzeuginnern mindestens Anzeigeinstrumente für folgende Parameter vorzusehen:

- Druck
- Temperatur
- Feuchtigkeit
- Sauerstoffpartialdruck
- CO_2-Partialdruck
- H_2-Anteil
- Druck der angeschlossenen Atemgasbehälter/-flaschen
- Druck hinter den Druck-Reduzierungen

2. Die Druck-Anzeigegeräte müssen eine Anzeigengenauigkeit von mindestens 1 % des vollen Anzeigebereiches aufweisen. Die Verwendung von Quecksilber-Manometern und -Thermometern ist nicht zulässig.

3. In jedem Raum sollte die Möglichkeit zur Messung der Raumtemperatur, des O_2- und des CO_2-Partialdruckes gegeben sein.

4. Zur Überwachung des O_2- und des CO_2-Partialdruckes sind je ein kontinuierlich anzeigendes Instrument und ein Reservegerät vorzusehen. Als Reservegerät können Teströhrchen anerkannt werden.

5. Das Sauerstoffanalysesystem muss mindestens eine Anzeigegenauigkeit von ± 0,015 bar für den Sauerstoff-Partialdruck aufweisen.

6. Das CO_2-Analysesystem muss mindestens eine Anzeigegenauigkeit von ± 0,001 bar für den CO_2-Partialdruck aufweisen.

7. Zur Untersuchung der Raumatmosphäre auf mögliche Verunreinigung wie z. B. CO, NO, NO_x und Kohlenwasserstoffe ist ein Analysesystem vorzusehen. Teströhrchen können hierfür anerkannt werden.

E. Temperatur- und Kälteschutz im Notfall

Unterwasserfahrzeuge sind so auszurüsten, dass für jedes Besatzungsmitglied auch im Notfall für die in B.1. genannten Zeiträume ein ausreichender Wärmeschutz gewährleistet ist (Wärmeschutzanzüge).

F. Druckausgleich

Maßnahmen, um den eventuell im Inneren des Druckkörpers aufgebauten höheren oder niedrigeren Druck kontrolliert an den äußeren atmosphärischen Druck anzugleichen, bevor die Zugangsluken geöffnet werden, sind vorzusehen.

G. Müllentsorgung

Die Unterwasserfahrzeuge sind mit Vorrichtungen oder Behältern auszustatten, welche die während des Überlebenszeitraumes anfallenden Abfälle ohne nennenswerte Beeinträchtigung insbesondere der Atemluft-Qualität aufnehmen.

Abschnitt 14

Brandschutz und Feuerlöscheinrichtungen

A. Allgemeines

1. Die Vorschriften dieses Abschnittes gelten für den baulichen Brandschutz, die Brandüberwachung und die Feuerlöscheinrichtungen auf Unterwasserfahrzeugen. Im Folgenden sind wesentliche Anforderungen für Unterwasserfahrzeuge angeführt, Details sind aber aus den im Einzelnen aufgeführten GL-Vorschriften für Seeschiffe zu entnehmen und für die aktuellen Bedingungen eines Unterwasserfahrzeugs anzupassen.

2. Die dem GL zur Genehmigung einzureichenden Unterlagen sind in Abschnitt 2, E. aufgeführt.

3. Die erforderlichen Prüfungen und Kennzeichnungen sind Abschnitt 2, G. und H. zu entnehmen.

B. Baulicher Brandschutz

1. Im Innern von Unterwasserfahrzeugen sind soweit möglich nur nichtbrennbare, mindestens aber schwerentflammbare Werkstoffe und Materialien einzusetzen. Alle tragenden Bauteile und die Isolierungen sind aus nichtbrennbaren Werkstoffen herzustellen.

2. Zündquellen sind soweit möglich zu vermeiden. Elektrische Heizgeräte und Erhitzer sind mit einem Überhitzungsschutz auszurüsten.

3. Bauteile und Materialien sind so zu wählen, dass statische Aufladungen möglichst vermieden werden.

4. Werden brennbare Materialien in geschlossenen Schränken eingebaut, sind diese so zu gestalten und auszurüsten, dass ein wirksamer Löschangriff von außen möglich ist.

5. Weitere Detailforderungen sind in Schiffskörper (I-1-1), Abschnitt 22 definiert.

C. Brandüberwachung

1. Prinzipielle Anforderungen

1.1 Bei Unterwasserfahrzeugen mit mehreren Abteilungen sind manuelle Feueralarmeinrichtungen vorzusehen.

1.2 Unterwasserfahrzeuge mit nicht besetzten Innenräumen (z.B. mit Maschinenräumen, Batterieräumen) sind für diese Räume zusätzlich mit einer automatischen Feuermeldeanlage auszurüsten.

1.3 Bei Unterwasserfahrzeugen mit nur einer Abteilung ist die Brandüberwachung mit dem GL abzustimmen.

1.4 Der Feueralarm kann manuell vom Fahrstand und den einzelnen Räumen aus oder automatisch von der Feuermeldeanlage ausgelöst werden.

1.5 Die Feuermeldung ist mindestens im Fahrstand des Fahrzeugs optisch und akustisch anzuzeigen.

2. Bauliche Anforderungen

2.1 Feuermelde- und Alarmanlagen müssen einschließlich ihrer Verkabelung vom GL baumustergeprüft sein.

2.2 Feuermeldeanlagen müssen selbstüberwachend gebaut sein, d.h. dass auftretende Fehler, wie z.B. Ausfall einer Einspeisung, Kurzschluss oder Drahtbruch in Meldeschleifen oder Herausnahme eines Melders aus dem Sockel optisch und akustisch im Fahrstand angezeigt werden.

2.3 Die Betriebsbereitschaft der Anlage ist im Fahrstand anzuzeigen.

2.4 Feuermeldeeinrichtungen sind sowohl an die Haupt- als auch an die Notstromversorgung anzuschließen.

2.5 Für die detaillierte Ausführung und Anordnung von Feuermelde- und -anzeigesystemen sind die GL-Vorschriften, Elektrische Anlagen (I-1-3), Abschnitt 9, D. und Automation (I-1-4), Abschnitt 4 zu beachten.

D. Feuerlöscheinrichtungen

1. Auslegung

1.1 Jede Abteilung des Druckkörpers ist mit geeigneten Einrichtungen zum Löschen eines Brandes auszurüsten, die eine rasche und wirksame Brandbekämpfung ermöglichen. Bei festinstallierten Anlagen ist eine gleichmäßige Verteilung des

Löschmittels über sämtliche Teile des Raumes sicherzustellen.

1.2 Die Löscheinrichtungen sind so auszulegen und zu bauen, dass damit alle denkbaren Brandfälle unter den in Abschnitt 2, D. genannten Umgebungsbedingungen sicher beherrscht werden können.

2. Löschmittel

An Löschmittel sind die folgenden grundsätzlichen Anforderungen zu stellen:

2.1 Toxische oder narkotisierende Löschmittel sind nicht zulässig. Erstickungseffekte von Löschmitteln sind zu berücksichtigen. Bei Gasfeuerlöschanlagen ist vor dem Einsatz ein Alarmierungskreis zu schalten.

2.2 Salzwasser ist als Löschmittel nicht gestattet.

2.3 Durch die Auslösung einer Feuerlöscheinrichtung darf keine unzulässige Druckänderung im Raume verursacht werden.

3. Form der Feuerlöscheinrichtungen

Als Löscheinrichtungen kommen Handfeuerlöscher oder festinstallierte Löschanlagen in Frage.

3.1 Handfeuerlöscher

3.1.1 Als Löschmittel kommen für Handfeuerlöscher in Frage:

- destilliertes Wasser
- Trockenpulver
- Schaum
- CO_2 für lokale Anwendung bei elektrischen Einrichtungen, Schalttafeln, jedoch nicht für Raumschutz zu verwenden, da die kritische Konzentration zur Gefährdung von Menschen nicht erreicht werden darf (Füllgewicht maximal 2 kg).

3.1.2 In jedem abgeschlossenen Raum des Druckkörpers sollte zumindest ein Handfeuerlöscher verfügbar sein.

- Fahrstand: 1 Feuerlöscher im Normalfall
- Passagierraum (wenn vorhanden): Anzahl entsprechend der Größe des Raumes
- Maschinenraum: 1 Feuerlöscher
- Batterieräume : 1 Feuerlöscher bei jedem Zugang außerhalb des Batterieraums
- Die Gesamtkapazität und ihre Aufteilung auf die einzelnen Feuerlöscher ist mit dem GL zu vereinbaren.

3.1.3 Die Handfeuerlöscher sind möglichst an gut erreichbarer Stelle anzuordnen.

3.2 Festinstallierte Anlagen

3.2.1 Als Löschmittel kommen in Frage:

- NOVEC-1230
- FM 200 oder vergleichbare Gase
- Wassernebel
- Stickstoff oder andere inerte Gase/Gasmischungen (z.B. Inergen)

3.2.2 Die Kapazität eines Löschsystems mit gasförmigem Löschmittel ist so auszulegen, dass bei kompletter Versprühung keine toxischen Konzentrationen auftreten.

3.2.3 Bei Unterwasserfahrzeugen mit separaten Maschinenräumen ist im Regelfall eine festinstallierte Feuerlöschanlage vorzusehen.

3.2.4 Festinstallierte Löschanlagen müssen von Hand ausgelöst werden können, sie sind ferner gegen Fehlbedienung und unbeabsichtigte Auslösung zu schützen. Bei mehreren Innenräumen hat die Auslösung von außerhalb des zu schützenden Raumes zu erfolgen und darf erst erfolgen, wenn in begehbaren Räumen ein entsprechender Alarm gegeben und der Raum von allen Personen verlassen wurde.

3.2.5 Es ist durch geeignete Einrichtungen sicherzustellen, dass in keinem Raum mehr Löschmittel versprüht wird, als zum Löschen des Brandes erforderlich ist.

4. Detaillierte Ausführung

Für detaillierte Ausführung und Anordnung siehe GL-Vorschriften, Maschinenanlagen (I-1-2), Abschnitt 12.

Abschnitt 15

Rettungssysteme

A. Allgemeines

1. Geltungsbereich

Die Vorschriften dieses Abschnitts gelten für die folgenden Einrichtungen und Anlagen, die zur Rettung des Unterwasserfahrzeugs und seiner Insassen erforderlich sind:

– Notgas/Luftvorrat zum (selbstätigen) Anblasen der Tauchzellen,

– Totmann-Knopf für Fahrzeugführer zum selbstätigen Anblasen, wobei ein unbeabsichtigtes Auslösen durch geeignete Maßnahmen zu verhindern ist (optional).

– abwerfbarer Ballast

– abtrennbare Ausrüstungsteile (z.B. Manipulatoren, Antriebseinheiten, Ruder, Halteeinrichtungen usw.)

– Abtrennen von Umbilicals und Tragseilen

– abkoppelbarer Rettungsbehälter (optional)

– Markierungsboje mit und ohne Rückholleine

– Andockflansch für Rettungs-Unterwasserfahrzeuge (optional)

Die Not-Atemluftversorgung wird in Abschnitt 13 definiert.

2. Rettungsausrüstung über Wasser

2.1 Für die Überwasserfahrt des Unterwasserfahrzeugs und für aus dem gesunkenen Fahrzeug an die Oberfläche aufgetauchte Besatzungsmitglieder sind Rettungsmittel vorzusehen.

2.2 Diese Rettungsausrüstung muss den entsprechenden internationalen und nationalen Vorschriften entsprechen, siehe Abschnitt 2, B. Ihr Entwurf und ihre Prüfung ist nicht Teil der Klassifikation des Fahrzeugs durch den GL. Allerdings sind ihre Unterbringung, Auslösung sowie etwaige daraus resultierenden Kräfte im Rahmen des Gesamtentwurfs zu berücksichtigen.

Hinweis

Meist wird es sich bei dieser Ausrüstung um aufblasbare Rettungsinseln in genügender Anzahl handeln, die sich bei entsprechendem Außendruck nach der Auslösung automatisch entfalten.

3. Persönliche Rettungsmittel

3.1 Für die Ausrüstung des Unterwasserfahrzeugs mit persönlichen Rettungsmitteln für die Besatzung z.B. Rettungsringe, Schwimmwesten, Eintauchanzüge (Wärmeschutzanzüge) gelten die jeweiligen internationalen und nationalen Vorschriften, siehe Abschnitt 2, B.

3.2 Es ist ein Erste Hilfe-Kasten vorzusehen.

4. Die dem GL zur Genehmigung einzureichenden Unterlagen sind in Abschnitt 2, E. aufgeführt.

5. Die erforderlichen Prüfungen und Kennzeichnungen sind Abschnitt 2, G. und H. zu entnehmen.

B. Grundsätze für den Entwurf

1. Notgas-/Luftvorrat

Der mitzuführende Vorrat zum Anblasen der Tauchzellen ist in Abschnitt 9, B.3.1 festgelegt.

2. Selbsttätiges Anblasen

Als Option kann eine Einrichtung zum selbsttätigen Anblasen der Tauchzellen vorgesehen werden, die automatisch ausgelöst wird, sofern nicht nach Ablauf einer Sicherheitszeit ein Sicherheitsschalter (Totmann-Knopf) betätigt wurde, bzw. die Nenntauchtiefe überschritten wird. Diese Einrichtung muss bei geöffnetem Taucherausstieg automatisch außer Funktion gesetzt werden.

3. Abwurf von festem Ballast

3.1 Es ist der rechnerische Nachweis zu führen, dass das Unterwasserfahrzeug nach Abwurf des festen Ballastes sicher auftaucht und in stabiler Lage an der Oberfläche schwimmt**,** siehe Abschnitt 3.

Für die Auslegung des abwerfbaren Ballasts ist im Allgemeinen mindestens der größte der folgenden Werte anzusetzen:

– Gewicht des Wasserinhalts aller Regel- und Trimmzellen, wenn diese lenzbar ausgeführt sind, reduziert um den geplanten verbleibenden Wasserinhalt.

– Gewicht des Wasserinhalts des größten außenliegenden Behälters bzw. Apparates unter Aussendruck abzüglich Einbauten

– Gewicht des Wasserinhalts der größten Tauchzelle

3.2 Das Abwerfen des festen Ballastes muss auch bei Ausfall der elektrischen Hauptenergiequelle erfolgen können.

Die Ballastabwurf-Vorrichtungen sind so zu gestalten, dass zwei voneinander unabhängige Bedienungsvorgänge erforderlich sind, um den Abwurf auszulösen.

Das Abwerfen des festen Ballasts muss auch am Grund möglich sein.

3.3 Außerdem ist im Normalfall auch noch der Abwurf von Ausrüstung zu ermöglichen, siehe diesbezüglich Abschnitt 6, C.7.

4. Abtrennen von Umbilicals und Tragseilen

Falls zur Rettung von nicht autonomen Unterwasserfahrzeugen erforderlich, sind auch Umbilicals und Tragseil abtrennbar zu gestalten, siehe diesbezüglich Abschnitt 6, C.5.

5. Abkoppelbarer Rettungsbehälter (optional)

5.1 Die Größe des Rettungsbehälters ist der Besatzungsstärke anzupassen und muss geeignet sein, einen sicheren und zügigen Auftauchvorgang zu gewährleisten.

5.2 Die Auslegung hat druckfest für 1,1-fachen Zerstörungsdruck **CDP** zu erfolgen.

5.3 Der Abkoppelungsvorgang darf nur bei geschlossener Zustiegsluke von innerhalb des Rettungsbehälters auszulösen sein.

5.4 In aufgetauchtem Zustand muss der Rettungsbehälter in einer stabilen Lage mit der Zustiegsluke nach oben und mit genügend Freibord zur Wasseroberfläche schwimmen.

5.5 Der Rettungsbehälter ist mit der erforderlichen Überlebensausrüstung zu versehen., welche zum Verbleib der Besatzung über einen mit dem GL abzustimmenden Zeitraum in Abhängigkeit von dem vorzulegenden Rettungsplan erforderlich ist.

6. Markierungsboje

6.1 Unabhängige und autonome Unterwasserfahrzeuge

6.1.1 Unabhängige und autonome Unterwasserfahrzeuge sind mit einer Markierungsboje auszurüsten, die im Notfall vom Fahrzeuginnern her ausgelöst werden kann. Die Boje ist druckfest auszubilden, wobei als Auslegungsdruck 1,1-fachen Zerstörungsdruck **CDP** anzunehmen ist.

6.1.2 Die Markierungsboje muss mit einem automatischen Notrufsender ausgerüstet sein.

6.1.3 Bei nicht zu großen Tauchtiefen soll die Markierungsboje durch ein abrollendes Kabel mit dem Unterwasserfahrzeug verbunden bleiben. Wenn möglich, soll die Markierungsboje in diesem Fall auch zur Telefonverbindung mit eingetroffenen Rettungskräften herangezogen werden können.

Da die Boje und der zugehörige Mechanismus im Allgemeinen in der frei durchfluteten Außenstruktur angeordnet sind, sollen alle Elemente des Auslösesystems, der Kabeltrommel usw. aus rostfreiem Material hergestellt werden, um eine unter allen Umständen einwandfreie Funktion zu gewährleisten.

6.1.4 Wenn bei großen Tauchtiefen eine Verbindung der Markierungsboje mit dem Unterwasserfahrzeug nicht mehr möglich ist, so soll sie mit einem Treibanker ausgerüstet sein, um möglichst nahe an der Position des Unterwasserfahrzeugs zu verbleiben.

6.2 Nicht-autonome Unterwasserfahrzeuge

Für nicht-autonome Unterwasserfahrzeuge wird eine Markierungsboje gemäß 6.1 empfohlen.

7. Rettungsflansch (optional)

Wird am Unterwasserfahrzeug ein Rettungsflansch zum Andocken eines Unterwasser-Rettungsfahrzeugs vorgesehen, sind die Auslegungs- und Berechnungsbedingungen hierzu im Einzelfall mit dem GL abzustimmen**,** siehe auch Abschnitt 5.

Bezüglich der Anzahl und Anordnung des Rettungsflansches bzw. der Ausstiegsluken ist Abschnitt 16, B.3.5 zu berücksichtigen.

8. Notfallanleitungen

In Nähe der Auslösungsorte für die beschriebenen Rettungssysteme sind entsprechende Bedienungsanleitungen, Warnschilder usw. vorzusehen, welche

– den Zweck der Auslösung und die einzelnen Vorgänge zur Bedienung übersichtlich beschreiben,

– bei Notbeleuchtung leicht lesbar sind und

– Symbole in Übereinstimmung mit den internationalen **SOLAS**-, **LSA**- und nationalen Vorschriften verwenden.

Abschnitt 16

Zusätzliche Anforderungen an Unterwasserfahrzeuge für den Touristik-Einsatz

A. Allgemeines

1. Die folgenden Vorschriften legen fest, welche Mindestanforderungen Unterwasserfahrzeuge für den Touristik-Einsatz gemäß MSC/Circ.981 vom 29. Januar 2001 erfüllen müssen.

2. Die Anforderungen betreffen Unterwasserfahrzeuge, die in zuvor festgelegten, erkundeten Tauchgebieten in für Oberflächentaucher jederzeit zugänglichen Tiefen eingesetzt werden und mehr als 6 Passagiere aufnehmen können. Es wird außerdem vorausgesetzt, dass zur Vermeidung von gegenseitigen Beeinträchtigungen zwischen dem auftauchenden Unterwasserfahrzeug und Fahrzeugen an der Oberfläche sowie zwecks Einleitung von Hilfsmaßnahmen in Notfällen jederzeit die Möglichkeit zur Kommunikation zwischen dem Unterwasserfahrzeug und einer Kontrollperson an der Oberfläche und damit auch zu anderen am See-/Schiffsverkehr beteiligten Überwasserfahrzeugen besteht.

3. Die Einsatzbedingungen für die das Unterwasserfahrzeug ausgelegt ist, sind dem GL eindeutig zu benennen. Der GL behält sich vor, in Abhängigkeit von diesen Einsatzbedingungen und gegebenenfalls in Abstimmung mit flaggenstaatlichen Anforderungen die Auslegung und Ausrüstung entsprechend anzupassen.

Im Normalfall soll ein Unterwasserfahrzeug für den Touristik-Einsatz nicht in Bereichen mit größeren Wassertiefen als die Nenntauchtiefe **NDD** operieren. Operationen in tieferem Wasser können beantragt werden, wenn entsprechende, besondere Sicherheitsmassnahmen vorgesehen sind und diese als adäquat vom GL genehmigt werden.

4. Nationale, den Betrieb, die Besatzung und die sicherheitstechnische Ausrüstung betreffende Vorschriften und Regeln sind, soweit vorhanden, vor Baubeginn in Erfahrung zu bringen und bei der Konstruktion zu berücksichtigen, um nachträgliche Anpassungen zu vermeiden.

5. Die dem GL zur Genehmigung einzureichenden Unterlagen sind in Abschnitt 2, E. dargestellt. Zusätzlich ist ein Notfallplan für die Evakuierung der Passagiere bei Brand, Beschädigung usw. des Unterwasserfahrzeugs einzureichen.

6. Die erforderlichen Prüfungen und Kennzeichnungen sind Abschnitt 2, G. und H. zu entnehmen.

7. Bei Unterwasserfahrzeugen mit weniger als 6 Passagieren sind die Anforderungen im Einzelfall mit dem GL abzustimmen.

B. Grundsätze für die Auslegung

1. Stabilität und Auftrieb

1.1 Unterwasserfahrzeuge für den Touristik-Einsatz sind hinsichtlich ihrer Stabilität im aufgetauchten und getauchten Zustand sowie in den Übergangsphasen so auszulegen, dass durch Personen, die sich an oder unter Deck bewegen, keine die Betriebssicherheit beeinträchtigenden Situationen eintreten können, vgl. Abschnitt 3.

1.2 Die Einrichtungen (variabler Ballast) zum Erzielen eines neutralen Auftriebes müssen unabhängig von der Tauchtiefe wirken und für die maximal zu erwartenden Änderungen bei Zuladung und Auftrieb (aufgrund von Dichteunterschieden) ausgelegt sein.

Ein Teil des variablen Ballastes kann aus losnehmbarem, sicher zu verstauendem Festballast bestehen. Die nicht druckfesten Tauchzellen dürfen bei der Auslegung nicht zum Erzielen eines neutralen Auftriebes herangezogen werden.

1.3 Es sind mindestens zwei voneinander unabhängige Möglichkeiten - eine davon ohne elektrische Energie - vorzusehen, um das Unterwasserfahrzeug in einer stabilen, aufrechten Schwimmlage auftauchen zu lassen.

1.4 Die Stabilität des aufgetauchten Unterwasserfahrzeuges, die Anordnung des oder der Einstiege und deren Höhe über der Wasserlinie muss so beschaffen sein, dass auch bei Evakuierung des Unterwasserfahrzeugs im Notfall und unter den Seegangsbedingungen, für die das Boot ausgelegt ist, kein Wasser durch die geöffnete(n) Luke(n) eintritt. Dabei ist von der ungünstigsten Gewichtsverteilung der Personen an und unter Deck unter Berücksichtigung des Notfallplans auszugehen.

1.5 Zum Ausgleich ungleichmäßiger Gewichtsverteilung der Passagiere in Längsrichtung des Unterwasserfahrzeugs müssen die Trimmzellen in geeigne-

ter Weise unterteilt oder es müssen andere Trimmeinrichtungen vorhanden sein, die es erlauben, das Fahrzeug im Normalbetrieb jederzeit in eine horizontale Schwimmlage zu bringen.

2. Auftauchen im Notfall

2.1 Basisforderung

Die Basisanforderung an Unterwasserfahrzeuge für den Touristikeinsatz ist, dass - soweit praktikabel - bei Auftreten irgendeines Einzelfehlers das Fahrzeug ohne äußere Hilfe an die Wasseroberfläche zurückkehren kann. Die entsprechenden Unterstützungssysteme und Ausrüstungen sind vorzusehen, um dieses allgemeine Entwurfskriterium zu verwirklichen. Das Fahrzeug soll in der Lage sein, zu jeder Zeit positiven Auftrieb zu entwickeln.

2.2 Leeren von Zellen

2.2.1 Die Tauchzellen sind so zu unterteilen, dass bei Beschädigung der größten Zelle alle Personen das Unterwasserfahrzeug sicher und ohne Gefahr, dass Wasser durch die Luke(n) eindringt, verlassen können, vergleiche Abschnitt 3, C.

2.2.2 Werden Zellen mit Druckluft geleert, müssen - zusätzlich zu den Anforderungen von Abschnitt 9, B.3. - ausschließlich für diesen Zweck vorgesehene Reservedruckluft-Vorräte verfügbar sein, die ausreichen, um die zum Auftauchen notwendigen Zellen mit 1,5-facher Sicherheit bei Nenntauchtiefe **NDD** anzublasen.

2.2.3 Werden andere Maßnahmen vorgesehen, sind diese vom GL zu genehmigen.

2.3 Abwerfen von Ballast

2.3.1 Einrichtungen zum Abwerfen von Ballast müssen ohne Fremdenergie betätigt werden können und so beschaffen sein, dass ein unbeabsichtigtes Auslösen verhindert wird. Die Handhabung der Ballast-Abwurfvorrichtung ist durch geeignete Kennzeichnung sinnfällig zu machen. Der Abwurfvorgang muss auch bei der größten denkbaren Schräglage des Unterwasserfahrzeugs möglich sein, vergleiche auch Abschnitt 15, B.3. Durch diese Maßnahmen muss eine mit dem Normalbetrieb vergleichbare Aufstiegsgeschwindigkeit erreicht werden.

2.3.2 Der abzuwerfende Ballast kann statt aus nur dafür vorgesehenen Ballastgewichten auch aus Anhängen oder einer Kombination von beiden bestehen. Als Alternative kann auch der Passagierteil von allen anderen Teilen des Unterwasserfahrzeugs abgetrennt werden, wenn der Passagierteil nach der Abtrennung positive Schwimmfähigkeit aufweist.

2.4 Externe Mittel

Es sind Maßnahmen vorzusehen, um das Unterwasserfahrzeug mit externen Mitteln an die Oberfläche zu bringen.

3. Ausrüstung

3.1 Die Unterwasserfahrzeuge sind mit geeigneten Anschlag- und Schlepppunkten auszurüsten. Die Anschlagpunkte müssen ein einfaches Anschlagen von Hubseilen oder Hebeballons durch Taucher oder ferngesteuerte Unterwasserarbeitsgeräte (ROVs) ermöglichen. Der Schlepppunkt ist so anzuordnen, dass ein Schleppen über die im Einsatzgebiet zu erwartenden Distanzen ohne Beeinträchtigung der Sicherheit des Fahrzeuges und seiner Ausrüstung möglich ist, vergleiche auch Abschnitt 6, B.11. und B.12.

3.2 Die Unterwasserfahrzeuge sind mit geeigneten Festmachereinrichtungen auszurüsten, die ein sicheres Vertäuen auch unter den ungünstigsten zu erwartenden Wetterbedingungen erlauben, vergleiche auch Abschnitt 6, C.2.

3.3 Die Unterwasserfahrzeuge sind, insbesondere wenn sie zum Passagierwechsel auf See längsseits eines Transfer-Bootes oder Pontons liegen sollen, mit kräftigen, umlaufenden Fendern auszurüsten, die eine Beschädigung außen liegender Tauchzellen, von Antriebsaggregaten oder anderen wichtigen Ausrüstungsteilen verhindern.

Vorrichtungen sind vorzusehen, damit Personen sicher an Bord des Unterwasserfahrzeugs gelangen können, wobei die Relation der Höhen zwischen dem Unterwasserfahrzeug und dem Transfer-Boot/Ponton, der Einfluss des Seegangs und falls erforderlich auch der Schutz der Anhänge des Unterwasserfahrzeugs usw. zu berücksichtigen sind.

3.4 Die Unterwasserfahrzeuge müssen so mit Geländern und Handläufen versehen sein, dass die Personen beim Ein- und Aussteigen gegen über Bord fallen gesichert sind und sich jederzeit an und unter Deck einen guten Halt verschaffen können, vergleiche auch Abschnitt 6, C.3.

3.5 Anzahl und Anordnung der Ein- und Ausstiegsluken für Passagiere und Besatzung sind insbesondere in Hinsicht auf Gesamtlänge des Unterwasserfahrzeugs, Länge des Druckkörpers, Anzahl der Passagiere sowie Betriebsbedingungen und Rettungsmöglichkeiten festzulegen.

Außerdem sind bei der Konstruktion zu berücksichtigen:

– Ein- und Ausstiege sind so zu gestalten, dass auch in Notfällen (z.B. Feuer, Rauch, Stabilität bei unkontrollierten Bewegungen der Passagiere, Wassereinbruch durch die Luken auf Grund von Seegang usw.) ein zügiger und sicherer Ausstieg gewährleistet ist. Abmessungen und Anordnung müssen eine Unterstützung älterer oder behinderter Personen durch Begleitpersonal erlauben; es ist daher zu prüfen, ob die in Abschnitt 5, C.6. angegebenen lichten Mindestweiten erhöht werden müssen.

– Die Anzahl der Luken soll nicht über das für die Sicherheit notwendige Maß erhöht werden.

3.6 Für jeden Passagier und jedes Besatzungsmitglied muss ein ausreichend bemessener Sitzplatz vorhanden sein.

3.7 Im Passagierbereich angeordnete Schaltanlagen, Ventile und sonstige Ausrüstung sind gegen unbefugtes Betätigen zu sichern. Maschinenräume sind mit verschließbaren Türen zu versehen. Der Pilotenbereich muss zur Verhinderung unbefugten Zutrittes vom Passagierbereich abgetrennt werden können.

3.8 Es ist sicherzustellen, dass der Pilot jederzeit mit anderen Mitgliedern der Besatzung in Sprechverbindung treten und dass der Pilot oder ein anderes Besatzungsmitglied jederzeit die Gesamtheit der Passagiere informieren kann.

3.9 Wenn das Unterwasserfahrzeug in Bereichen betrieben wird, wo die Wassertiefe größer als die Nenntauchtiefe **NDD** ist, soll bei **NDD** ein Tiefenalarm ausgelöst werden. Dieser Alarm darf erst quittierbar sein, sobald die Nenntauchtiefe wieder erreicht ist.

3.10 Wenn das aufgetauchte Unterwasserfahrzeug auf dem Radarschirm anderer Fahrzeuge nicht eindeutig erkennbar ist, ist ein Radartransponder vorzusehen.

Für Unterwasserfahrt ist das Unterwasserfahrzeug mit einem Sonarreflektor oder akustischem Notfall-Pinger, der mit der Versorgungsanlage an der Oberfläche kompatibel ist, auszurüsten.

3.11 Die Sichtverhältnisse für den Fahrzeugführer sollen so beschaffen sein dass er das Boot jederzeit, insbesondere in der Nähe von Hindernissen sowie auch an der Oberfläche, sicher manövrieren kann.

Zur Erweiterung des Sichtbereiches können Fernsehanlagen vorgesehen werden.

4. Lebenserhaltungssysteme

4.1 Die Unterwasserfahrzeuge sollen so ausgestattet sein, dass der Passagierraum zwischen zwei Tauchfahrten ausreichend belüftet werden kann.

4.2 Unterwasserfahrzeuge für die in A.2. genannten Betriebsbedingungen, sind mit Lebenserhaltungssystemen auszurüsten, die die erforderlichen Atemluft-Werte gemäß Abschnitt 13, B.2. für einen Überlebenszeitraum entsprechend den zu erwartenden maximalen Zeiten für Rettungsmaßnahmen im Notfall, jedoch für mindestens 24 Stunden über die vorgesehene, normale Einsatzzeit hinaus einhalten können. Die in Abschnitt 13, B.1. definierten Überlebenszeiträume für andere Arten von Unterwasserfahrzeugen kommen hier nicht zur Anwendung.

Bei abweichenden Einsatzbedingungen ist der erforderliche Überlebenszeitraum durch den GL zu genehmigen.

4.3 Die Unterwasserfahrzeuge sind mit Vorrichtungen oder Behältern auszustatten, welche die während des Überlebenszeitraumes anfallenden Abfälle ohne nennenswerte Beeinträchtigung insbesondere der Atemluft-Qualität aufnehmen.

4.4 Für jeden Passagier und jedes Besatzungsmitglied ist ein tragbares Notatemgerät vorzusehen, das im Notfall (Rauch, kontaminierte Atemluft) die Atmung für das Auftauchen und den Ausstieg gewährleistet und einen Augenschutz beinhaltet. Die Kapazität der Notatemgeräte muss so bemessen sein, dass Atemluft während 150 % der zum Auftauchen benötigten Zeit, mindestens jedoch eine Stunde zur Verfügung steht. Bei besonderen Betriebsbedingungen kann diese Zeit reduziert werden.

Die erforderliche Anzahl von Reservegeräten ist in Abhängigkeit von der Personenzahl an Bord mit dem GL abzustimmen. Die Notatemgeräte für die Besatzung sollten diese nicht in der Ausübung ihrer Funktionen behindern und auch die Bedienung der Kommunikationseinrichtungen ermöglichen.

4.5 Für die Notatemgeräte und ggf. auch Schwimmwesten sind Staumöglichkeiten in Sitzplatznähe vorzusehen, die eine sichere Lagerung und schnellen Zugriff ermöglichen und mit sinnfälligen Hinweisschildern zu versehen sind.

Hinweise

– *Aufblasbare Schwimmwesten zur Erleichterung der Ausschiffung im Notfall werden empfohlen.*

– *Rettungsbojen oder equivalente Rettungsmittel sind beim Ein- und Ausschiffen von Passagieren bereitzuhalten, sobald jemand am Oberdeck des Unterwasserfahrzeuges ist.*

4.6 Wird das Unterwasserfahrzeug in kalten Gewässern für touristische Zwecke eingesetzt, ist für den Überlebenszeitraum ausreichender Kälteschutz für Passagiere und Besatzung sicherzustellen (Wärmeschutzanzüge).

Abschnitt 17

Unterstützende Einrichtungen auf dem Versorgungsschiff

A. Allgemeines

1. Geltungsbereich

Die folgende Vorschrift gilt für Anlagen und Einrichtungen die sich auf einem Versorgungsschiff für Unterwasserfahrzeuge befinden und entsprechend Typ und Einsatzweck des Unterwasserfahrzeugs für die Unterstützung des Betriebs erforderlich sind.

2. Begriffsbestimmungen

Bezüglich der Begriffsbestimmungen siehe Abschnitt 2, C.

3. Zu berücksichtigende Vorschriften

Bezüglich der zu berücksichtigenden Vorschriften siehe Abschnitt 2, B.

4. Umgebungsbedingungen

Die Umgebungsbedingungen nach Abschnitt 2, D. sind sinngemäß auch für unterstützende Einrichtungen auf dem Versorgungsschiff anzuwenden.

5. Kommunikationseinrichtungen

Sofern für den Betrieb des Unterwasserfahrzeugs mehrere, nicht direkt benachbarte Bereiche auf dem Versorgungsschiff erforderlich sind, sind diese durch geeignete Kommunikationseinrichtungen miteinander zu verbinden.

B. Klassifikation und Zertifizierung

1. Um einen störungsfreien und sicheren Betrieb des Unterwasserfahrzeugs zu gewährleisten, sind die unterstützenden Einrichtungen entweder zu klassifizieren oder zu zertifizieren, siehe Abschnitt 1, Tabelle 1.1.

2. Die zu klassifizierenden Einrichtungen (insbesondere nach C.2., C.3. und D.4.) werden im Rahmen der Klassifikation eines gesamten Unterwasserfahrzeugs mit dem Klassenzusatz **SUBMERSIBLE** behandelt. Die Vorgangsweise hierfür ist in Abschnitt 1, B. definiert.

3. Die Einrichtungen nach C.2., C.3. und D.4. können auch im Rahmen der U-Boot-Zertifizierung eines gesamten Unterwasserfahrzeugs behandelt werden und es wird ein U-Boot-Zertifikat erteilt. Die Vorgangsweise hierfür ist in Abschnitt 1, G. definiert.

4. Nach Beurteilung der anderen Einrichtungen nach D. bis G. wird ein Zertifikat erteilt oder es wird ein Eignungsnachweis verlangt. Die Vorgangsweise hierfür erfolgt in analoger Form zu dem in Abschnitt 1, G. definierten Verfahren.

C. Steuerungseinrichtungen

1. Allgemeines

1.1 Unter Steuerungseinrichtungen sollen der Kontrollstand, die Kommunikationseinrichtungen zum Unterwasserfahrzeug und die dynamische Positionierungseinrichtung des Versorgungsschiffes zusammengefasst werden.

1.2 Der Nachweis der Eignung von Kontrollstand und Datenübertragung hat durch eine GL-Klassifikation oder durch ein U-Boot-Zertifikat (vergleiche Abschnitt 1, Tabelle 1.1) zu erfolgen. In beiden Fällen sind die folgenden Anforderungen zu berücksichtigen.

2. Kontrollstand

2.1 Alle Einrichtungen an Bord des Versorgungsschiffes, die der Betreuung des Unterwasserfahrzeugs dienen, sollen in einem Kontrollstand zusammengefasst werden. Besondere Beachtung ist dem Kontrollstand für den Betrieb nicht-autonomer Unterwasserfahrzeuge zu geben.

2.2 Soweit anwendbar, gelten die in Abschnitt 12, B.2. definierten Anforderungen für einen Fahrstand in analoger und sinnfälliger Weise für den Kontrollstand auf dem Versorgungsschiff.

2.3 Die folgenden Anforderungen sind zusätzlich zu berücksichtigen:

– Der vom Hersteller des Unterwasserfahrzeugs definierte Energiebedarf muss bereitgestellt werden.

– Die Speisung des Kontrollstandes für nicht-autonome Unterwasserfahrzeuge soll durch zwei voneinander unabhängige Stromkreise erfolgen und umschaltbar ausgeführt werden. Alternativ kann auch eine direkte Speisung von der Notschalttafel des Versorgungsschiffes erfolgen.

– Die zulässigen Spannungs- und Frequenzabweichungen gemäß den GL-Vorschriften, Elektrische Anlagen (I-1-3), Abschnitt 1 sollen nicht überschritten werden.

– Für die Speisung von Führungs-, Überwachungs- und Sicherheitsanlagen müssen die Forderungen gemäß den GL-Vorschriften, Elektrische Anlagen (I-1-3), Abschnitt 9 eingehalten werden.

– Die Mindestschutzarten für den Kontrollstand sind entsprechend den GL-Vorschriften, Elektrische Anlagen, Abschnitt 1 auszuführen.

– Falls der Kontrollstand mit den Kommunikationseinrichtungen nicht direkt auf der Brücke des Versorgungsschiffes angeordnet ist, ist eine Kommunikationseinrichtung und erforderlichenfalls eine Datenübertragung zwischen beiden zu etablieren.

– Zwischen dem Kontrollstand und der Kontrolleinheit für die Versorgungseinrichtungen nach D. (z.B. schiffstechnischer Leitstand) ist eine Kommunikationseinrichtung vorzusehen.

– Im Bereich des Kontrollstands dürfen keine Anlagen oder Einrichtungen installiert werden, die die Funktion des Kontrollstands beeinträchtigen.

2.4 Für den Betrieb von autonomen Unterwasserfahrzeugen ist ein Kontrollstand nur für die Versorgung zwischen den Einsätzen in reduzierten Umfang erforderlich.

2.5 Pläne und Beschreibungen des Kontrollstands und seiner Anspeisung sind für die relevanten Bereiche einzureichen.

3. Kommunikationseinrichtungen

3.1 Soweit anwendbar, gelten die in Abschnitt 12, C. definierten Anforderungen für die Kommunikationseinrichtungen auf dem Versorgungsschiff in analoger Weise.

3.2 Die Kommunikation soll vom Kontrollstand nach 2. aus erfolgen.

3.3 Die Energieversorgung der Kommunikationseinrichtungen zum Unterwasserfahrzeug ist analog zu 2.3 vorzusehen.

3.4 3.3 ist für die Kommunikationeinrichtungen zu einem autonomen Unterwasserfahrzeug nur anzuwenden, sofern die Kommunikation für einen sicheren Betrieb erforderlich ist.

3.5 Pläne und Beschreibungen der Kommunikationseinrichtungen des Versorgungsschiffes sind für die hier relevanten Bereiche einzureichen.

4. Dynamische Positionierung des Versorgungsschiffes

4.1 Ein Schiff mit dynamischer Positionierung ist ein Fahrzeug, das automatisch seine Position (fixer Ort oder vorbestimmter Fahrweg) ausschließlich mit Hilfe von Propeller-/Strahlantrieben einhält.

Insbesondere bei nicht-autonomen Unterwasserfahrzeugen kann es erforderlich werden, eine dynamische Positionierung des Versorgungsschiffes vorzusehen, da das Unterwasserfahrzeug durch ein Umbilical mit dem Versorgungsschiff verbunden ist.

4.2 Soweit anwendbar, gelten die in Abschnitt 10, B.3. definierten Anforderungen für Positioniereinrichtungen auf dem Versorgungsschiff in analoger Weise.

4.3 Zwischen dem Steuerstand für die dynamische Positionierung des Versorgungsschiffes und dem Kontrollstand nach 2. sind geeignete Kommunikationseinrichtungen zu installieren. Für den Fall des Versagens der Positionierung eines der beiden Fahrzeuge ist die Möglichkeit zur Auslösung eines Alarms vorzusehen.

4.4 Alle Anforderungen zur Klassifizierung eines derartigen Positioniersystems sind in den GL Rules Dynamic Positioning Systems (I-1-15) definiert. Entsprechend dem Grad der Redundanz kann der GL die Klassenzusätze **DP 1**, **DP 2** und **DP 3** vergeben.

Das Versorgungsschiff hat auch den Richtlinien der IMO: „Guidelines for Vessels with Dynamic Positioning Systems“ (MSC/Circ. 645) zu genügen.

4.5 Genehmigungsunterlagen

Es sind folgende Unterlagen einzureichen

– Beschreibung der Hauptkennwerte des Systems

– Beschreibung der eingesetzten Propeller-/Strahlantriebe

– Blockschaltbilder des Steuerungssystems und benützte Logik

– Zeichnungen der Anordnung, Liste der Ausrüstung usw.

5. Prüfungen und Erprobungen

5.1 Für den Fall der Klassifizierung ist wie für das Unterwasserfahrzeug eine Abnahmeprüfung nach Fertigstellung, eine jährliche Prüfung, eine Zwischenprüfung und eine Klassenerneuerungsprüfung nach 5 Jahren durchzuführen.

5.2 Sollen Kontrollstand und Kommunikationseinrichtungen im Rahmen des U-Boot-Zertifikats geprüft werden, sind eine Abnahmeprüfung und eine jährliche Überprüfung erforderlich.

5.3 Im Rahmen der Abnahmeprüfung ist die Übereinstimmung der Dokumentation mit der Anlage sowie die sichere Funktion für den Normal- und Notbetrieb nachzuweisen.

5.4 Alle Einrichtungen sind visuell auf Beschädigungen, Korrosionseinflüsse usw. zu kontrollieren. Anschließend ist eine komplette Funktionsprobe durchzuführen.

D. Versorgungseinrichtungen

1. Allgemeines

1.1 Unter Versorgungseinrichtungen sind die Einrichtungen des Versorgungsschiffes zu verstehen, die Energie in Form von Strom, Hydrauliköl und Atemluft bereitstellen. Bei nicht-autonomen Unterwasserfahrzeugen ist die Versorgung sowohl bei der Einsatzvorbereitung als auch kontinuierlich während des Einsatzes aufrecht zu halten, bei autonomen Unterwasserfahrzeugen zwischen den Einsätzen.

1.2 Der Nachweis der Eignung dieser Einrichtungen kann durch das Klassenzertifikat des Versorgungsschiffes oder durch das Zertifikat einer anerkannten Institution erfolgen (vergleiche Abschnitt 1, Tabelle 1.1). Falls kein Zertifikat vorhanden ist und der GL mit der Erstellung eines derartigen Nachweises durch den Hersteller oder Betreiber beauftragt wird, werden die folgenden Anforderungen berücksichtigt.

Die Versorgung mit Atemluft nach 4. ist als Lebenserhaltungssystem Teil der Klassifikation bzw. U-Boot-Zertifizierung des nicht-autonomen Unterwasserfahrzeugs.

2. Elektrotechnische Versorgung

2.1 Soweit anwendbar, gelten die in Abschnitt 11 definierten Anforderungen für das Versorgungsschiff in analoger Form.

2.2 Die folgenden Anforderungen sind zusätzlich zu berücksichtigen:

- Der vom Hersteller des Unterwasserfahrzeugs definierte Energiebedarf muss jederzeit bereitgestellt werden können.
- Wenn durch den Ausfall der Hauptversorgung ein gefährlicher Zustand für den Verbraucher eintreten kann, sind besondere Maßnahmen in Abstimmung mit dem GL vorzusehen.
- Die Notenergieversorgung muss bei nicht-autonomen Unterwasserfahrzeugen den Energiebedarf für eine sichere Beendigung des Einsatzes liefern können.
- Die zulässigen Spannungs- und Frequenzabweichungen gemäß den GL-Vorschriften, Elektrische Anlagen (I-1-3), Abschnitt 1 sollen nicht überschritten werden.

2.3 Neben den in den GL-Vorschriften, Elektrische Anlagen (I-1-3), Abschnitt 1, B. aufgeführten betriebswichtigen Verbrauchern gehören auf dem Versorgungsschiff auch die elektrischen Einrichtungen wie:

- Notbeleuchtung der für den Einsatz des Unterwasserfahrzeugs wichtigen Bereiche
- Spannungsversorgung des Kontrollstandes für nicht-autonome Unterwasserfahrzeuge
- Versorgungseinrichtungen, z.B. Atemluftkompressor, Spannungsversorgung des Unterwasserfahrzeugs
- Aussetz-, Berge- und Andockeinrichtungen

zu den betriebswichtigen Verbrauchern.

2.4 Pläne und Beschreibungen der elektrischen Energieversorgungsanlage des Versorgungsschiffes sind für die hier relevanten Bereiche einzureichen.

3. Hydraulikversorgung

3.1 Soweit anwendbar, gelten die in den GL-Vorschriften, Maschinenanlagen (I-1-2), Abschnitt 14 definierten Anforderungen für das Versorgungsschiff.

3.2 Die folgenden Anforderungen sind zusätzlich zu berücksichtigen:

- Für Hydrauliksysteme gelten, soweit anwendbar, die in Abschnitt 9, B.4. definierten Anforderungen für das Versorgungsschiff in analoger Form.
- Der vom Hersteller des nicht-autonomen Unterwasserfahrzeugs bzw. des Arbeitsgeräts definierte Hydraulikölbedarf (Menge, Druckbereich) muss jederzeit bereitgestellt werden können. Dabei ist auch der Zusatzbedarf für etwaige Arbeitsgeräte (vergleiche GL-Vorschriften, Unbemannte Unterwasserfahrzeuge (ROV, AUV) und Unterwasser-Arbeitsmaschinen (I-5-3), Abschnitt 5 zu berücksichtigen.
- Sofern erforderlich, muss die Notversorgung bei Einsatz von nicht-autonomen Unterwasserfahrzeugen/Arbeitsgeräten den definierten Ölbedarf für eine sichere Beendigung des Einsatzes liefern können.
- Wenn durch den Ausfall der Hauptversorgung ein gefährlicher Zustand für den Verbraucher eintreten kann, sind besondere Maßnahmen in Abstimmung mit dem GL vorzusehen.

– Die zulässigen Mengen- und Druckabweichungen sollen den Angaben des Herstellers des Unterwasserfahrzeugs entsprechen und dürfen nicht über-/unterschritten werden.

– Die Hydraulikflüssigkeit muss für die Betriebsanforderungen und insbesondere die Umweltbedingungen über und unter Wasser (siehe Abschnitt 2, D.) geeignet sein.

3.3 Pläne und Beschreibungen der Hydraulikanlage des Versorgungsschiffes sind für die hier relevanten Bereiche einzureichen.

4. Atemluftversorgung

4.1 Die Anforderungen für die Atemluftversorgung in Abschnitt 13, C. gelten in analoger Weise auch für Atemluftversorgungsanlagen auf dem Versorgungsschiff.

4.2 Folgende Anforderungen sind zusätzlich zu berücksichtigen:

– Der Versorgungsdruck ist am Kontrollstand anzuzeigen.

– Bei Unterschreitung des Versorgungsdruckes ist am Kontrollstand ein Alarm auszulösen.

– Eine Notversorgung für die Zeit zum sicheren Beenden des Einsatzes bzw. zum Auftauchen ist einzurichten.

– Zwischen der Atemluftversorgungsanlage und den Druckluftversorgungsanlagen für den Betrieb des Versorgungsschiffes ist eine sichere Trennung vorzusehen.

– Es sind Maßnahmen zu treffen, die ein Eindringen von Seewasser in die Systeme soweit wie möglich ausschließen.

4.3 Pläne und Beschreibungen der Atemluftanlage des Versorgungsschiffes sind einzureichen.

5. Prüfungen und Erprobungen

5.1 Für den Fall der Klassifizierung der Atemluftversorgung nach 4. ist wie für das Unterwasserfahrzeug eine Abnahmeprüfung nach Fertigstellung, eine jährliche Prüfung, eine Zwischenprüfung und eine Klassenerneuerungsprüfung nach 5 Jahren zu absolvieren.

Soll die Atemluftversorgung im Rahmen des U-Boot-Zertifikats geprüft werden, so sind eine Abnahmeprüfung und eine jährliche Überprüfung erforderlich.

5.2 Sollen die anderen Versorgungseinrichtungen im Rahmen der Zertifizierung geprüft werden, so sind eine Abnahmeprüfung und eine jährliche Überprüfung erforderlich.

5.3 Alle Einrichtungen sind visuell auf Beschädigungen, Korrosionseinflüsse usw. zu kontrollieren. Anschließend ist eine komplette Funktionserprobung, sowohl im Normalbetrieb als auch im Notbetrieb durchzuführen.

E. Aussetz- und Bergeeinrichtung

1. Allgemeines

1.1 Die folgenden Vorschriften gelten für alle Einrichtungen und Anlagen zum Aussetzen und Bergen sowie Auf- und Abrolleinrichtungen für Umbilicals von Unterwasserfahrzeugen, falls sie vom GL zertifiziert werden sollen, vgl. Abschnitt 1, Tabelle 1.1.

1.2 Falls die in diesem Abschnitt enthaltenen Einrichtungen die definierten Anforderungen erfüllen und sie unter GL Aufsicht gebaut und geprüft wurden, kann eine Bescheinigung für die Einrichtung ausgestellt und ein Prüfbuch für Aussetzvorrichtungen eröffnet werden. Letzteres dient dazu, jederzeit Auskunft über den aktuellen Stand hinsichtlich genereller Daten sowie den Prüfungs-, Untersuchungs- und Wartungsstatus geben zu können.

Details sind in den GL-Richtlinien für die Ausführung und Prüfung von Hebezeugen (VI-2-2) definiert.

1.3 Neben der Aussetz- und Bergeeinrichtung muss eine Notberge- und Schleppeinrichtung vorhanden sein, mit deren Hilfe das Unterwasserfahrzeug im Notfall an die Wasseroberfläche gehievt und abgeschleppt werden kann.

1.4 Zwischen der Aussetz- und Bergeeinrichtung sowie der Auf- und Abrolleinrichtung für Umbilicals, falls diese getrennt aufgestellt ist, und dem Kontrollstand nach C.2. ist eine Kommunikationseinrichtung zu etablieren.

2. Grundsätze für die Auslegung

2.1 Allgemeine Grundsätze

2.1.1 Die Aussetz- und Bergeeinrichtung muss in der Lage sein, das Unterwasserfahrzeug bei den in Abschnitt 2, D. genannten Seegangsbedingungen sicher auszusetzen und zu bergen.

2.1.2 Die Aussetz- und Bergeeinrichtung sollte mit Einrichtungen zur Verringerung der dynamischen Belastungen während des Aussetzens und Bergens unter Seegang ausgerüstet sein.

2.1.3 Es ist ein Kupplungssystem vorzusehen, mit dessen Hilfe das Unterwasserfahrzeug sicher und zügig an die Aussetz- und Bergevorrichtung angekuppelt, bzw. von dieser getrennt werden kann.

2.1.4 Es sind Einrichtungen zum Stabilisieren des Unterwasserfahrzeugs während des Aussetzens und Bergens vorzusehen.

2.1.5 Aussetz- und Bergeeinrichtungen für Unterwasserfahrzeuge mit Taucherausstieg müssen zusätzlich den Anforderungen gemäß Tauchanlagen und Tauchsimulatoren (I-5-1), Abschnitt 2, J. entsprechen.

2.1.6 Für die maschinenbauliche Ausrüstung der Aussetz- und Bergeeinrichtungen gelten die GL-Richtlinien für die Ausführung und Prüfung von Hebezeugen (VI-2-2), sofern nicht in den folgenden Abschnitten abweichende Regelungen enthalten sind.

2.2 Energieversorgung, Kraftantriebe

2.2.1 Die Aussetz- und Bergeeinrichtung muss mindestens über zwei voneinander unabhängige Energiequellen verfügen, von denen jede in der Lage sein muss, den vollen Energiebedarf zu liefern, der zum Aussetzen und Bergen des Unterwasserfahrzeugs erforderlich ist. Bei hydraulischen Antrieben sind zwei voneinander unabhängige Kraftpumpensätze vorzusehen.

2.2.2 Die Energiequellen, einschließlich deren Zuleitungen und Schalteinrichtungen, sind so anzuordnen, dass ein Ausfall oder Brand eines Systems nicht zum Ausfall des Reservesystems führen kann.

2.2.3 Die Aussetz- und Bergeeinrichtung ist mit Hilfsantrieben auszurüsten, um bei Ausfall des Windenantriebs, bzw. der Hydraulikpumpen ein eingeleitetes Aussetz- und Bergemanöver sicher zu Ende führen zu können.

2.2.4 Aussetz- und Bergeeinrichtungen mit einem "A"-Portal sind mit zwei Hydraulikzylindern auszurüsten, die so auszulegen und anzuordnen sind, dass jeder einzeln in der Lage ist, den Aussetz- und Bergevorgang unter Last sicher durchzuführen. Sie sind ferner so an das Hydrauliksystem anzuschließen, dass ein einzelner Fehler im Hydrauliksystem nicht zum Ausfall beider Hydraulikzylinder führen kann.

2.3 Steuerungseinrichtungen

2.3.1 Aussetz- und Bergeeinrichtungen sind so mit Steuerungseinrichtungen auszurüsten, dass ein intermittierender Betrieb mit weichen Beschleunigungen möglich ist. Die Steuerungseinrichtungen sind ferner so auszulegen und anzuordnen, dass der Bediener während des gesamten Aussetz- und Bergevorgangs das Unterwasserfahrzeug im Blickfeld hat und alle Betriebsvorgänge sicher durchführen kann.

2.3.2 Die Steuerungseinrichtungen sind so mit Verblockungen zu versehen, dass gleichzeitig nur solche Steuerbefehle ausgeführt werden können, die nicht zu einem gefährlichen oder ungewollten Zustand führen.

2.3.3 Steuerungsanlagen sind mit einem Notaus-Knopf zu versehen.

2.3.4 Steuerungselemente sind, soweit möglich, in "Fail Safe"-Ausführung vorzusehen.

2.3.5 Steuerungsanlagen mit Fernbedienung sind zusätzlich mit einer aufschaltbaren Direktsteuerung auszurüsten. Bei Ausfall oder Fehler der Fernbedienung muss ein automatischer Stop aller eingeleiteten Betriebsvorgänge erfolgen.

2.3.6 Alle Bedienelemente sind eindeutig und dauerhaft zu kennzeichnen und ausreichend zu beleuchten.

2.3.7 Ein Bedienungsstand mit guter Übersicht über die gesamte Aussetz- und Bergeeinrichtung ist vorzusehen.

3. Berechnung

3.1 Entwurfsbelastungen

3.1.1 Die minimale „Nutzlast **SWL“** der Aussetz- und Bergeeinrichtung setzt sich zusammen aus:

- Gewicht des Unterwasserfahrzeugs, einschließlich der Ausrüstung, der Ballastgewichte usw.
- Gewicht der Arbeitsgeräte
- Nutzlast **NL** des Unterwasserfahrzeugs
- Gesamtgewicht der Besatzung mit je 75 kg und der voll ausgerüsteten Taucher mit je 150 kg
- Gewicht der Lastaufnahmemittel, die nicht fest mit der Aussetz- und Bergeeinrichtung verbunden sind
- resultierende Lasten des Umbilicals gemäß 5.3, falls dieses vorhanden ist und über die Aussetz- und Bergeeinrichtung geleitet wird

3.1.2 Für die Berechnung ist im Normalfall anzunehmen, dass der Lastseilangriff unter einem Winkel von 12° zur Lotrechten in jeder beliebigen Richtung erfolgen kann.

3.1.3 Bei der Berechnung sind auch weitere mögliche äußere Lasten, die während des Betriebs auftreten können (z.B. Dynamik, Windlasten, Eisablagerung usw.), zu berücksichtigen.

3.1.4 Schließlich sind auch die Kräfte aus maximaler Schiffsbewegung und grüner See, Wind, Eis usw. wenn die Aussetz- und Bergeeinrichtung in Ruhestellung auf dem Versorgungsschiff gestaut ist, zu kontrollieren. Es ist ein Festigkeitsnachweis unter Berücksichtigung der Seegangs- und Windverhältnisse entsprechend Abschnitt 2, D. vorzulegen.

3.1.5 Weiterhin ist die Mindesthievgeschwindigkeit durch den Hersteller zu spezifizieren und mit dem GL abzustimmen.

3.1.6 Die Antriebsmaschine der Winde muss so ausgelegt sein, dass für die Dauer von mindestens 5 Minuten ein Höchstdrehmoment entsprechend einer maximalen Zugkraft von 1,5 × Nennzugkraft der Winde bei reduzierter Geschwindigkeit aufgebracht werden kann. Analog müssen die Hydraulikzylinder für das 1,5-fache der Nennzylinderkraft ausgelegt werden. Für beides ist ein rechnerischer Nachweis zu erbringen.

3.2 Werkstoffe

3.2.1 Für die Herstellung, Verarbeitung und Prüfung von Werkstoffen gelten die GL-Vorschriften, II – Werkstoffe und Schweißtechnik, Teil 1 – Metallische Werkstoffe und Teil 2 – Nichtmetallische Werkstoffe.

3.2.2 Andere Werkstoffe als unter 3.2.1 genannt, sind nach anerkannten Normen bzw. nach den vom GL geprüften und genehmigten Spezifikationen des Werkstoffherstellers herzustellen und zu verarbeiten.

3.3 Berechnungsverfahren

3.3.1 Die Berechnung der Aussetz- und Bergeeinrichtung sowie der Aufroll- und Abrolleinrichtungen für Umbilicals ist entsprechend den Prinzipien der GL-Richtlinien für die Ausführung und Prüfung von Hebezeugen (VI-2-2) durchzuführen. Dabei ist die Einrichtung als Offshore-Hebezeug zu betrachten.

Ist die Einrichtung mit Stoßdämpfern oder Seegangsfolgeeinrichtungen ausgerüstet, die von GL genehmigt sind, kann mit Zustimmung des GL von einer Nutzlastminderung ganz oder teilweise abgesehen werden.

3.3.2 Abweichend von der Bemessung als Offshore-Hebezeuge sind für die Bemessung von Aussetz- und Bergeeinrichtungen unabhängig von der Art und Größe ihrer Nutzlast ein Nutzlastbeiwert von 2,7 und ein Eigenbeiwert von 1,5 zu berücksichtigen. Hierbei wird vorausgesetzt, dass der Einsatz bei Seegang auf signifikante Wellenhöhen bis zu 2 m beschränkt wird.

Sollte ein Aussetzen bzw. Bergen bei noch ungünstigeren Bedingungen vorgesehen sein, so ist eine vorherige Abstimmung mit dem GL erforderlich.

4. Ausrüstung

4.1 Werden Aussetz- und Bergekräne verwendet, sind Vorkehrungen zu treffen, die verhindern, dass der Kran bei Seegang unkontrolliert dreht oder schwenkt. Die Dreh- oder Schwenkvorrichtungen müssen in der Lage sein, den Kran in jeder Position zu halten. Sie sind ferner so zu konstruieren, dass alle Bewegungen weich anlaufen und abbremsen.

4.2 Aussetz- und Bergeeinrichtungen sind mit Vorrichtungen zu versehen, die ein übermäßiges Verdrehen bzw. Schwingen des Unterwasserfahrzeugs beim Bergen verhindern (z.B. durch Verwendung drehungsfreier Seile und zusätzlicher Stander).

4.3 Es sind Vorkehrungen zu treffen, die verhindern, dass das Unterwasserfahrzeug gegen den Schiffskörper oder gegen die Aussetz- und Bergeeinrichtung schlagen kann.

4.4 Windenanlagen sind mit zwei unabhängigen Bremsen auszurüsten. Eine der Bremsen ist energieunabhängig auszuführen, muss bei Energieausfall einfallen und soll direkt auf die Seiltrommel wirken.

4.5 Bremsen müssen ausreichend bemessen sein, um die dynamische Prüflast nach 7.1 zu halten.

4.6 Die Endlagen der Aussetzvorrichtung wie die obere und untere Haken- und Auslegerstellung sowie der Schwenkbereich sind zu überwachen. Die Anfahr- und Abbremsgeschwindigkeiten sind zu regeln.

4.7 Für den Fall, dass das Unterwasserfahrzeug nicht an einem Tragseil hängt, ist ein Kupplungssystem vorzusehen, mit dessen Hilfe das Unterwasserfahrzeug sicher und zügig an die Aussetz- und Bergevorrichtung angekuppelt bzw. von dieser getrennt werden kann.

4.8 Alle austauschbaren Einzelteile wie Blöcke, Haken, Schäkel usw. sollen anerkannten Normen entsprechen, müssen bezogen auf die Nutzlast **SWL** eine 8-fache Sicherheit gegen Bruch aufweisen und mit ihrer Nutzlast markiert sein.

4.9 Die größte statische Zugkraft der Stahldrahtseile infolge der Nutzlast darf 1/8 der nachgewiesenen Seilbruchkraft nicht überschreiten.

4.10 Die Verwendung von Faserseilen ist nur in besonderen Fällen mit Zustimmung des GL zulässig. Bei der Verwendung von Faserseilen aus Natur- oder Chemiefasern darf die größte statische Zugkraft infolge der Nutzlast 1/10 der nachgewiesenen Seilbruchkraft nicht überschreiten.

5. Auf- und Abrolleinrichtungen für Umbilicals

5.1 Auf- und Abrolleinrichtungen für Umbilicals beschreiben die gesamten Einrichtungen zur Handhabung des Umbilicals auf dem Versorgungsschiff. Sie können unterschiedliche Ausführungen haben, wobei eine Umbilicalwinde häufig integraler Bestandteil dieser Einrichtungen ist.

5.2 Es ist eine entsprechende Ab- und Aufrolleinrichtung für das Umbilical vorzusehen, die das Umbilical ohne Einschränkung der Bewegungsfreiheit und ohne zusätzliche mechanische Belastung dem Element unter Wasser nachführt.

Wenn ein Steuerungssystem für die Nachführung des Umbilicals (TMS – Tether Management System) für die Einrichtung vorgesehen ist, sind die Anforderungen von Anhang E, B.2.2 zu berücksichtigen.

5.3 Die folgenden Anforderungen sind für die Auslegung von Auf- und Abrolleinrichtungen für Umbilicals zu berücksichtigen:

– spezifizierte Einsatzbedingungen, z.B. Wellenhöhe und Typ des Versorgungsschiffes

– Nutzlast **SWL** der Auf- und Abrolleinrichtungen für Umbilicals unter Berücksichtigung des Gewichts des Umbilicals, seines Auftriebs im Wasser (gefüllt und leer) sowie der Reibung im Wasser und dynamischer Effekte, z.B. durch Seegang

– Der Radius des Umbilicals darf in der Auf- und Abrolleinrichtung keinesfalls kleiner sein, als der für das Umbilical spezifizierte Biegeradius.

– Die ungünstigste Anordnung des Umbilicals zu Auf- und Abrolleinrichtungen (z.B. Aufspulwinkel, Lage auf der Windentrommel, Verwendung von Umlenkrollen usw.) ist zu berücksichtigen.

– Die Werkstoffzertifikate müssen den GL-Richtlinien für die Ausführung und Prüfung von Hebezeugen (VI-2-2) entsprechen.

– Die Auf- und Abrolleinrichtungen müssen über eine Energiequelle verfügen, die in der Lage ist, das Umbilical unter den spezifizierten Bedingungen sicher auf- und abzurollen.

– Die Auf- und Abrolleinrichtungen sind mit Hilfsantrieben auszurüsten, um bei Ausfall des Hauptantriebs, bzw. der Hydraulikpumpe ein eingeleitetes Auf- und Abrollmanöver sicher zu Ende führen zu können.

– Um eine Überbeanspruchung von Umbilical und Auf- und Abrolleinrichtungen zu verhindern, muss eine Messung der Zugkraft an geeigneter Stelle der Einrichtung vorgesehen werden, die bei Überschreitung der Nutzlast **SWL** einen Alarm am Kontrollstand auslöst.

6. Genehmigungsunterlagen

Es sind folgende Unterlagen einzureichen:

6.1 Systembeschreibung mit Angaben der Einsatzbedingungen und technische Daten einschließlich Einhol- und Aussetzgeschwindigkeit

6.2 Angaben über Aufstellungs- und Anschlussbedingungen einschließlich Bedienungsstand.

6.3 Konstruktionszeichnungen von:

– Aussetz- und Bergeeinrichtungen

– Auf- und Abrolleinrichtungen für Umbilicals

– Unterbauten der Geschirre und Winden

6.4 Ausführungszeichnungen der austauschbaren Einzelteile und Beschläge oder Nennung der zugrunde liegenden Normen.

6.5 Zeichnungen der maschinenbaulichen Ausrüstungen wie z. B. Winden, Antriebe usw.

6.6 Schaltpläne des Hydraulik- bzw. Pneumatiksystems.

6.7 Steuerungsschema und Beschreibung der Sicherheitseinrichtungen.

6.8 Angaben über Nenndaten und Schutzart der elektrischen Einrichtungen.

6.9 Angaben zu Tragseilen/Umbilicals

7. Prüfungen und Erprobungen

7.1 Abnahmeprüfung

Vor Inbetriebnahme der Aussetz- und Bergeeinrichtung sowie der Auf- und Abrolleinrichtungen für Umbilicals ist eine Abnahmeprüfung mit folgenden Einzelprüfungen durchzuführen:

– Prüfung, dass für alle austauschbaren Einzelteile geeignete Nachweise vorliegen

– Die Bruchkraft der verwendeten Seile ist durch einen Ganzzerreißversuch nachzuweisen und zu bescheinigen.

– Statische Prüfung der Anlage beim Hersteller mit einer Prüflast gleich dem 2,2-fachen der Nutzlast **SWL**

– Dynamische Prüfung (Bremsentest) an Bord mit dem 1,25-fachen der Nutzlast SWL

– Bei einem mit zwei Hydraulikzylindern angetriebenen A-Portal ist eine Zusatzprüfung mit **SWL** bei Einsatz nur eines Zylinders durchzuführen.

– Überprüfung der Mindesthievgeschwindigkeit

– Prüfung, dass das Verfahren und Aussetzen bzw. Einholen des Unterwasserfahrzeugs im Normalbetrieb und im Notbetrieb sicher und ruckfrei erfolgt.

– Überprüfung des Tragseil-Kupplungssystems, soweit vorhanden.

– Prüfung der Funktion einschließlich der Sicherheits- und Alarmeinrichtungen.

7.2 Wiederkehrende Prüfung

Zur Aufrechterhaltung des Zertifikats ist die Aussetz- und Bergeeinrichtung einer jährlichen Prüfung zu unterziehen.

Dabei ist die gesamte Einrichtung inklusive aller Anschlagmittel auf sichtbare Beschädigungen, Anrisse, Verformungen und Anrostungen zu kontrollieren und einer Funktionsprüfung einschließlich eines Bremsentests (Energieausfall) zu unterziehen.

Alle 5 Jahre ist auch eine dynamische Prüfung mit der 1,25-fachen **SWL** einschließlich eines Bremsentests (Energieausfall) durchzuführen.

8. Kennzeichnung

Die Aussetz- und Bergeeinrichtungen sind sowie die Auf- und Abrolleinrichtungen für Umbilicals an gut sichtbarer Stelle mit einem fest angebrachten Typschild zu versehen, das mindestens folgende Angaben enthält:

– Hersteller

– Baunummer und Herstelljahr

– Nutzlast **SWL** [t]

– Ausladungsbereich [m]

– Prüfdatum und Prüfstempel, bei Kranen am unteren Ende des rechten Auslegerholmes und neben dem Anschluss dieser Holmseite auf dem Krangehäuse

F. Stauung und Decktransport

1. Allgemeines

1.1 Unter Stauung und Decktransport wird die Verlagerung des durch die Aussetz- und Bergungseinrichtung geborgenen Unterwasserfahrzeugs zu einem Aufbewahrungsort an Bord verstanden. Der Aufbewahrungsort ist in der Regel gegen Umwelteinflüsse zu schützen, insbesondere wenn Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten durchgeführt werden sollen. Das Unterwasserfahrzeug ist dabei für alle denkbaren Schiffsbewegungen sicher zu stauen und zu verzurren.

Bei Bedarf ist außerdem der Transport einer Tauchkammer zur Dekompressionskammer bzw. zu deren Andockeinrichtung zu ermöglichen.

1.2 Falls kein geeigneter Eignungsnachweis durch z.B. Prüfstempel, Prüfplaketten usw. für diese Einrichtungen vorhanden ist (vergleiche Abschnitt 1, Tabelle 1.1) und der GL mit der Erstellung eines derartigen Eignungsnachweises durch den Hersteller oder Betreiber beauftragt wird, werden die folgenden Anforderungen berücksichtigt.

2. Grundsätze für die Auslegung und Ausrüstung

Es sind die Anforderungen des IMO Code A.714 (17): „Code of Safe Practice for Cargo Stowage and Securing“ zu berücksichtigen.

2.1 Mechanische Anforderungen

An Bord des Versorgungsschiffes und unter Berücksichtigung der maximalen Schiffsbewegungen sind ausreichend dimensionierte Vorkehrungen wie z.B. schiffsseitige Ladungssicherungselemente vorzusehen für:

– den gesamten Transportweg

– Lagerung des Unterwasserfahrzeugs/der Tauchkammer

– Verzurrung an Deck oder innerhalb von Containern/Luken

– Verzurrung von Containern mit Ausrüstung

2.2 Elektrische Anforderungen

2.2.1 An den Aufbauten des Versorgungsschiffes ist an gut zugänglicher Stelle eine Anschlussmöglichkeit in Form einer Anschlussplatte mit Stehbolzen vorzugsweise M12 vorzusehen, an welcher Schutzleiter des Unterwasserfahrzeugs/der Tauchkammer ohne Verwendung von Werkzeug angeschlossen werden können.

2.2.2 Für den Aufenthalt des Unterwasserfahrzeugs bzw. der Tauchkammer an Deck des Versorgungsschiffes sind die unter 2.2.1 genannten Einrichtungen derart anzuordnen, dass ein ununterbrochener Potentialausgleich möglich ist.

2.2.3 Bereiche für Transport und Stauung sind ausreichend zu beleuchten.

2.3 Brand- und Explosionsschutz

Der Stauplatz für das Unterwasserfahrzeug/die Tauchkammer auf dem Versorgungsschiff ist mit geeigneten Feuerlöschsystemen auszurüsten. Diese Anlage kann Teil der allgemeinen Feuerlöschanlage des Versorgungsschiffes sein.

Explosionsschutzmaßnahmen für die explosionsgefährdeten Bereiche von denen aus das Unterwasserfahrzeug eingesetzt werden soll, sind vorzusehen.

3. Genehmigungsunterlagen

Es sind folgende Unterlagen einzureichen:

– Pläne mit Beschreibung des Transports, der Lagerung und der Verzurrungsmaßnahmen einschließlich Stücklisten mit den verwendeten Zurrmitteln

– Beschreibung der elektrischen Maßnahmen

– Beschreibung der Brandschutzmaßnahmen

– Beschreibung der Explosionsschutzmaßnahmen

4. Prüfungen und Erprobungen

4.1 Abnahmeprüfung

Vor Einsatz der Stau- und Transporteinrichtungen ist eine Abnahmeprüfung mit folgenden Einzelprüfungen durchzuführen:

– Prüfung, dass für alle austauschbaren Einzelteile geeignete Nachweise vorliegen

– Prüfung, dass für die Bruchkraft der verwendeten Seile geeignete Nachweise vorliegen

– Prüfung, dass der Transport des Unterwasserfahrzeugs bzw. der Tauchkammer im Normalbetrieb und im Notbetrieb sicher und ruckfrei erfolgt

– Funktionsprüfung einschließlich Prüfung der Sicherheitseinrichtungen

4.2 Wiederkehrende Prüfungen

Zur Aufrechterhaltung des Zertifikats sind die Einrichtungen einer jährlichen Prüfung zu unterziehen.

Dabei ist die gesamte Einrichtung inklusive aller Zurr- und Transportmittel auf sichtbare Beschädigungen, Anrisse, Verformungen und Anrostungen zu kontrollieren und einer Funktionsprüfung zu unterziehen.

G. Andockeinrichtung

1. Allgemeines

Für den Transfer von Tauchern unter Druck von ihrem Arbeitsplatz unter Wasser zum Versorgungsschiff durch ein Unterwasserfahrzeug mit Taucherschleuse/Taucherkammer ist eine geeignete Andockeinrichtung an der Dekompressionskammer an Bord des Versorgungsschiffes vorzusehen. Das gleiche gilt für die Vorkompression von Tauchern auf ihre Arbeitsbedingungen unter Wasser.

2. Zwischen der Andockeinrichtung und dem Kontrollstand nach C.2. ist eine Kommunikationseinrichtung zu etablieren.

3. Zum Nachweis der Eignung der Druckkammer mit Andockeinrichtung ist ein Zertifikat einer anerkannten Institution erforderlich. Falls der Hersteller oder Betreiber den GL mit der Ausstellung eines derartigen Zertifikats beauftragt, sind die Anforderungen der GL-Vorschrift Kapitel 1 – Tauchanlagen und Tauchsimulatoren insbesondere Abschnitt 2, Q.6. für die Andockeinrichtung und Abschnitt 2, R. für das hyperbare Rettungssystem zu berücksichtigen.

4. Genehmigungsunterlagen

Es sind folgende Unterlagen einzureichen:

– Systembeschreibung mit Angaben der Einsatzbedingungen

– Angaben über Aufstellungs- und Anschlussbedingungen einschließlich Kontrollstand

– Konstruktionszeichnungen der Andockeinrichtung

– Steuerungsschema und Beschreibung der Sicherheitseinrichtungen

Anhang A

Berechnung des Druckkörpers

A. Allgemeines

1. Einführung

1.1 Im Folgenden wird eine Berechnungsmethode beschrieben, welche für die Lastfälle I, II und III mit den Drücken

- Nenntauchdruck **NDP** (Lastfall I nach GL Vorschriften für Bemannte Unterwasserfahrzeuge (I-5-2), Abschnitt 4, E.)
- Zerstörungstauchdruck **CDP** (Lastfall II)
- Prüftauchdruck **TDP** (Lastfall III)

die Spannungs- und Stabilitätsverhältnisse im Druckkörper untersucht.

Im Folgenden wird das Rechenverfahren für versteifte zylindrische Schalen dargestellt. Bei unversteiften zylindrischen Schalen mit gewölbten Endböden werden die Berechnungen sinngemäß für die Querschnittsfläche des Versteifungsringes $A_{eff} = A_F = 0$ durchgeführt, wobei die Beullänge durch die Endböden begrenzt wird. Wird die Beullänge durch gewölbte Böden begrenzt, so ist je Boden 40 % der Wölbungstiefe zur zylindrischen Länge hinzuzurechnen.

Die dargelegte Berechnungsmethode berücksichtigt fertigungsbedingte Abweichungen von der Idealform der Außenhaut (z. B. Unrundheit). Die Fertigungstoleranzen welche in Anhang B definiert sind, sind für die Berechnung anzuwenden.

1.2 Kegelförmige Schalen werden abschnittsweise berechnet und dabei jeweils wie zylindrische Schalen behandelt.

1.3 Das Gesamtversagen der Konstruktion wird als Beulung der Struktur des Druckkörpers zwischen Schotten, Rahmenspanten und schalenförmigem Endboden betrachtet.

Für die beschriebenen Stabilitätszustände sind die Nachweise von ausreichender Sicherheit in Bezug auf die spezielle Form des Versagens erforderlich.

1.4 Bei Anwendung der Berechnungsmethode ist zu beachten, dass sowohl elastisches als auch elastisch-plastisches Verhalten im Werkstoff der Außenhautkonstruktion sowie in den Spanten auftreten kann.

Im Allgemeinen ist es der Fall, dass:

- bei Nenntauchdruck die Beanspruchung im rein elastischen Bereich des Werkstoffs ist
- bei Prüftauchdruck die Beanspruchung am Beginn des elastisch-plastischen Bereichs des Werkstoffs liegen kann
- bei Berechnung gegen Überschreiten der zulässigen Spannung jedoch elastisches Werkstoffverhalten angenommen werden kann
- bei Zerstörungstauchdruck die Beanspruchung im elastischen oder elastisch-plastischen Bereich des Werkstoffs liegen kann

1.5 Bei der Berechnung eines Druckkörpers sind die Berechnungsdaten entsprechend den vorgesehenen Betriebsbedingungen des Unterwasserfahrzeugs unter Beachtung der Vorschriften für Bemannte Unterwasserfahrzeuge (I-5-2), Abschnitt 5, D. einzusetzen.

1.6 Druckkörper unter internem Überdruck, sind zusätzlich entsprechend GL Vorschriften für Maschinenanlagen (I-1-2), Abschnitt 8 zu berechnen.

2. Längsfestigkeit

Für die Längsfestigkeit des Druckkörpers sind die Längsbiegemomente und Schubkräfte zu berücksichtigen. Sie ist nur auf Verlangen des GL zu überprüfen.

3. Dem Druckkörper ähnliche Behälter

Für Behälter, welche teilweise oder insgesamt wie der Druckkörper angeordnet sind und von denen die Sicherheit des Unterwasserfahrzeugs in gleicher Weise abhängt, wie z. B. der Zugangsschacht, die Container für Rettungsausrüstung, usw., sind die selben Untersuchungen durchzuführen, wie für den Druckkörper.

4. Acrylglasfenster

Die Anforderungen an Entwurf und Herstellung von Acrylglasfenstern sind im Anhang C definiert.

B. Betriebsfestigkeit

1. Die Überprüfung der Betriebsfestigkeit ist für den Lastfall I, der durch die Betriebslasten bei Nenntauchdruck **NDP** entsprechend GL Vorschriften für Bemannte Unterwasserfahrzeuge (I-5-2), Abschnitt 4, B.2.1 bzw. Unbemannte Unterwasserfahrzeuge (ROV, AUV) und Unterwasser-Arbeitsmaschinen (I-5-3), Abschnitt 3, C.1.6.1.1 bestimmt ist, durchzuführen.

2. Der Spannungsnachweis ist für die Nenngeometrie durchzuführen.

3. Für die Berechnung der Spannungen im Druckkörper sind die folgenden Einflüsse mit ausreichender Genauigkeit zu berücksichtigen:

– Spannungserhöhungen bei Spanten, Rahmenspanten, Schotten und Knick-/Übergangsringen

– Spannungserhöhungen an Durchbrüchen

– Störungen des Spannungszustandes durch die Verbindung mit druckfesten Anbauten

C. Spannungen bei Nenntauchdruck

1. Die Überprüfung der Spannungen ist für den Lastfall I, der durch den Nenntauchdruck **NDP** entsprechend GL Vorschriften für Bemannte Unterwasserfahrzeuge (I-5-2), Abschnitt 4, B.2.1 bzw. Unbemannte Unterwasserfahrzeuge (ROV, AUV) und Unterwasser-Arbeitsmaschinen (I-5-3), Abschnitt 3, C. 1.6.1.1 bestimmt ist, durchzuführen.

2. Für die Berechnung der Spannungen im Druckkörper sind die Spannungsgrenzen in den GL Vorschriften für Bemannte Unterwasserfahrzeuge (I-5-2), Abschnitt 5, D.3. definiert.

3. Der Spannungsnachweis ist unter der Verwendung der Verfahren in F.1., F.6.2, F.4.4 (Formel A59), F.7.2 und F.7.4 zu führen.

F1: Zylinder, F6.2: Kalotten, F4.4: Spanten, F7.2: Durchbruch Zylinder, F7.4: Durchbruch

D. Spannungen bei Prüftauchdruck

Kugelschale

1. Die Überprüfung der Spannungen ist für den Lastfall III, der durch die Prüftauchdruck **TDP** entsprechend GL Vorschriften für Bemannte Unterwasserfahrzeuge (I-5-2), Abschnitt 4, B.2.2 bzw. Unbemannte Unterwasserfahrzeuge (ROV, AUV) und Unterwasser-Arbeitsmaschinen (I-5-3), Abschnitt 3, C. 1.6.1.3 bestimmt ist, durchzuführen.

2. Für die Berechnung der Spannungen im Druckkörper sind die Spannungsgrenzen in den GL Vorschriften für Bemannte Unterwasserfahrzeuge (I-5-2), Abschnitt 5, D.3. definiert.

3. Für Nenntauchdrücke von mindestens 10 bar kann der Spannungsnachweis für den Lastfall III entfallen.

4. Der Spannungsnachweis ist unter der Verwendung der Verfahren in F.1., F.6.2, F.4.4 (Formel A59), F.7.2 und F.7.4 zu führen.

E. Nachweis der Grenztragfähigkeit bei Zerstörungstauchdruck

1. Der Nachweis der Grenztragfähigkeit ist für den Lastfall II, der durch die Zerstörungstauchdruck **CDP** entsprechend GL Vorschriften für Bemannte Unterwasserfahrzeuge (I-5-2), Abschnitt 4, B.2.3 bzw. Unbemannte Unterwasserfahrzeuge (ROV, AUV) und Unterwasser-Arbeitsmaschinen (I-5-3), Abschnitt 3, C.1.6.1.2 bestimmt ist, als Stabilitäts- und Spannungsnachweis durchzuführen.

Für die folgenden Versagenstypen ist nachzuweisen, dass die Versagensdrücke größer oder gleich dem Zerstörungsdruck sind:

– symmetrisches Beulen zwischen den Spanten

– asymmetrisches Beulen zwischen den Spanten

– Gesamtinstabilität unter Berücksichtigung der teilweisen Wirksamkeit der Rahmenspanten

– ~~Kippen der Spanten~~

– Beulung der gewölbten Endböden und Kugeln

– örtliches Fließen im Bereich von Unstetigkeiten

2. Für die Berechnung der Spannungen im Druckkörper sind die Spannungsgrenzen in Bemannte Unterwasserfahrzeuge (I-5-2), Abschnitt 5, D.3. definiert.

3. Der Spannungsnachweis ist unter der Verwendung der Verfahren in F.1., F.6.2, F.4.4, F.5.3, F.5.4, F.7.2 und F.7.4 zu führen.

F5.3: Spanten
F5.4: Kalotten

F. Berechnung

1. Berechnung der Spannungen in einem gleichförmig ausgesteiften Zylinder oder Kegel als Basis für die Berechnung des Zerstörungsdrucks

1.1 Die geometrische Situation ist in Abb. A.1 definiert und die Zusammenstellung der Spannungen ist in Tabelle A.1 dargestellt.

Bezeichnungen in Abb. A.1:

R_m = mittlerer Radius der Zylinderschale

R = Innenradius der Zylinderschale

s = Nennwanddicke der Zylinderschale nach Abzug des Korrosionszuschlages c

h_w = Steghöhe des Spants

s_w = Stegdicke des Spants

b_f = Gurtbreite

s_f = Gurtdicke

L_F = Spantabstand

A_F = Querschnittsfläche des Spantes

R_C = Radius des Flächenschwerpunktes des Spants

R_f = Innenradius des Spantgurtes

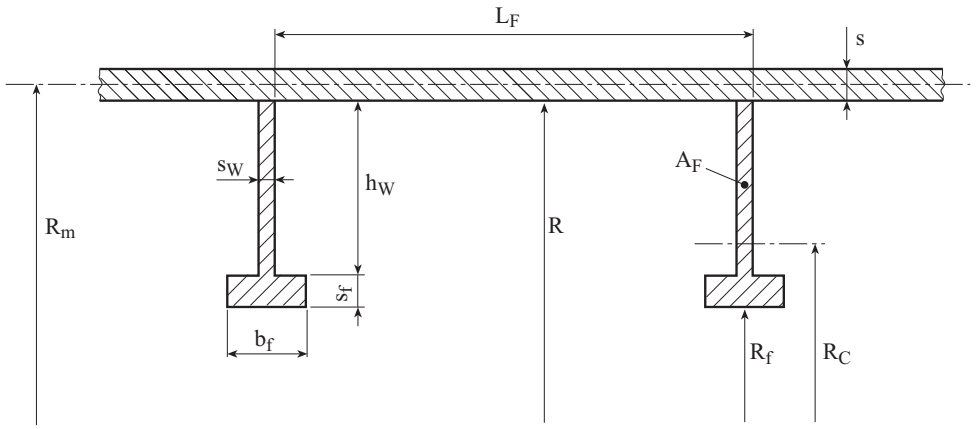


Abb. A.1 Geometrische Situation der Spanten zur Aussteifung des Druckkörpers

Tabelle A.1 Zusammenstellung der Spannungen in einer ausgesteiften Zylinderschale

Spannungen in der Zylinderschale						
Arten von Spannungen	**Am Spant**			**In Feldmitte**		
	Umfang	**Vergleichs-spannung**	**Axial**	**Umfang**	**Vergleichs-spannung**	**Axial**
Membranspannung	$\sigma^{m}_{\varphi,F}$ (A19)		$\sigma^{m}_{x,F}$ (A17)	$\sigma^{m}_{\varphi,M}$ (A18)		$\sigma^{m}_{x,M}$ (A17)
Membranvergleichs-spannung		$\sigma^{m}_{v,F}$ (A14)			$\sigma^{m}_{v,M}$ (A14)	
Biegespannungen	$\sigma^{b}_{\varphi,F}$ (A23)		$\sigma^{b}_{x,F}$ (A21)	$\sigma^{b}_{\varphi,M}$ (A22)		$\sigma^{b}_{x,M}$ (A20)
Normalspannung an der Außenseite	$\sigma^{m}_{\varphi,F}+\sigma^{b}_{\varphi,F}$ (A19) + (A23)		$\sigma^{m}_{x,F}+\sigma^{b}_{x,F}$ (A17) + (A21)	$\sigma^{m}_{\varphi,M}+\sigma^{b}_{\varphi,M}$ (A18) + (A22)		$\sigma^{m}_{x,M}+\sigma^{b}_{x,M}$ (A17) + (A20)
Vergleichsnormalspannung an der Außenseite		$\sigma^{m+b}_{v,F,o}$ (A14)			$\sigma^{m+b}_{v,M,o}$ (A14)	
Normalspannung an der Innenseite	$\sigma^{m}_{\varphi,F}-\sigma^{b}_{\varphi,F}$ (A19) - (A23)		$\sigma^{m}_{x,F}-\sigma^{b}_{x,F}$ (A17) - (A21)	$\sigma^{m}_{\varphi,M}-\sigma^{b}_{\varphi,M}$ (A18) - (A22)		$\sigma^{m}_{x,M}-\sigma^{b}_{x,M}$ (A17) - (A20)
Vergleichsnormalspannung an der Innenseite		$\sigma^{m+b}_{v,F,i}$ (A14)			$\sigma^{m+b}_{v,M,i}$ (A14)	
Hinweis *Die Zahlen in Klammern stellen die Nummern der anzuwendenden Formeln dar.*						

1.2 Berechnung der Faktoren und Basisformeln

$$F_1 = \frac{4}{\theta}\left\{\frac{\cos h^2\eta_1\theta - \cos^2\eta_2\theta}{\frac{\cos h\eta_1\theta\cdot\sinh\eta_1\theta}{\eta_1}+\frac{\cos\eta_2\theta\cdot\sin\eta_2\theta}{\eta_2}}\right\} \qquad (A1)$$

$$F_2 = \frac{\frac{\cosh\eta_1\theta\cdot\sin\eta_2\theta}{\eta_2}+\frac{\sinh\eta_1\theta\cdot\cos\eta_2\theta}{\eta_1}}{\frac{\cosh\eta_1\theta\cdot\sinh\eta_1\theta}{\eta_1}+\frac{\cos\eta_2\theta\cdot\sin\eta_2\theta}{\eta_2}} \qquad (A2)$$

$$F_3 = \sqrt{\frac{3}{1-\nu^2}}\left\{\frac{-\frac{\cosh\eta_1\theta\cdot\sinh\eta_1\theta}{\eta_1}+\frac{\cos\eta_2\theta\cdot\sin\eta_2\theta}{\eta_2}}{\frac{\cosh\eta_1\theta\cdot\sinh\eta_1\theta}{\eta_1}+\frac{\cos\eta_2\theta\cdot\sin\eta_2\theta}{\eta_2}}\right\} \qquad (A3)$$

$$F_4 = \sqrt{\frac{3}{1-\nu^2}}\left\{\frac{\frac{\cosh\eta_1\theta\cdot\sin\eta_2\theta}{\eta_2}-\frac{\sinh\eta_1\theta\cdot\cos\eta_2\theta}{\eta_1}}{\frac{\cosh\eta_1\theta\cdot\sinh\eta_1\theta}{\eta_1}+\frac{\cos\eta_2\theta\cdot\sin\eta_2\theta}{\eta_2}}\right\} \qquad (A4)$$

$$p^* = \frac{2\cdot E\cdot s^2}{R_m^2\sqrt{3\,(1-\nu^2)}} \qquad (A5)$$

E = Elastizitätsmodul
= $2{,}06 \cdot 10^5$ N/mm² für ferritischen Stahl
= entsprechende Werte für andere Materialien sind zu vereinbaren

ν = Poissonzahl im elastischen Bereich
= 0,3 für Stahl

ν_p = Poissonzahl im elastisch-plastischen Bereich

$$\gamma = \frac{p}{p^*} \tag{A6}$$

p = Berechnungsdruck
= wahlweise **NDP**, **TDP** und **CDP**

$$\eta_1 = \frac{1}{2}\sqrt{1-\gamma} \tag{A7}$$

$$\eta_2 = \frac{1}{2}\sqrt{1+\gamma} \tag{A8}$$

$$L = L_F - s_w \tag{A9}$$

$$L_{eff} = \frac{2}{\sqrt[4]{3\,(1-\nu^2)}}\sqrt{R_m \cdot s} \tag{A10}$$

~~$A_{eff} = A_F \frac{R_m}{R_C}$~~ (A11)

$$\theta = \frac{2 \cdot L}{L_{eff}} \tag{A12}$$

Für die Spannungsbezeichnungen gelten folgende Indizes:

0 – Bezugsgröße
m – Membranspannung
b – Biegespannung
v – Vergleichspannung
x – Längsrichtung
φ – Umfangsrichtung
r – Radialrichtung
t – Tangentialrichtung
o – Außenseite
i – Innenseite
F – am Spant
D – am Rahmenspant
F/D – am Spant bzw. Rahmenspant
M – in Feldmitte
f – im Gurt des Spantes
w – im Steg des Spantes
C – im Schwerpunkt des Spantenquerschnitts
c – in der Kalotte des gewölbten Bodens

Die Bezugsspannung ist die Umfangsspannung im unversteiften zylindrischen Druckkörper:

$$\sigma_o = -\frac{p \cdot R_m}{s} \tag{A13}$$

Die Vergleichsspannungen setzen sich aus den Einzelspannungen in Längs- und Umfangsrichtung zusammen:

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_x{}^2 + \sigma_\varphi{}^2 - \sigma_x \cdot \sigma_\varphi} \tag{A14}$$

Radialverschiebung in der Mitte zwischen den Spanten w_M

$$w_M = -\frac{p \cdot R_m^2}{E \cdot s}\left(1-\frac{\nu}{2}\right)\left\{1-\frac{A_{eff} \cdot F_2}{A_{eff} + s_w \cdot s + L \cdot s \cdot F_1}\right\} \tag{A15}$$

Radialverschiebung an den Spanten w_F:

$$w_F = -\frac{p \cdot R_m^2}{E \cdot s}\left(1-\frac{\nu}{2}\right)\left\{1-\frac{A_{eff} \cdot F_2}{A_{eff} + s_w \cdot s + L \cdot s \cdot F_1}\right. \tag{A16}$$

$$\left. \cdot \left[\cosh \eta_1\theta \cdot \cos \eta_2\theta + \frac{\sqrt{\frac{1-\nu^2}{3}}\frac{F_4}{F_2} + \gamma}{4 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2}\sinh \eta_1\theta \cdot \sin \eta_2\theta\right]\right\}$$

Mittlere Membranspannung in Längsrichtung (unabhängig von der Längskoordinate x):

$$\sigma_x^m = -\frac{p \cdot R_m}{2 \cdot s} \tag{A17}$$

Membranspannung in Umfangsrichtung in der Mitte zwischen den Spanten:

$$\sigma_{\varphi,M}^m = E\frac{w_M}{R_m} + \nu \cdot \sigma_x^m \tag{A18}$$

und an den Spanten:

$$\sigma_{\varphi,F}^m = E\frac{w_F}{R_m} + \nu \cdot \sigma_x^m \tag{A19}$$

Biegespannungen in Längsrichtung in der Mitte zwischen den Spanten:

$$\sigma_{x,M}^b = \pm\sigma_o\left(1-\frac{\nu}{2}\right)F_4\frac{A_{eff}}{A_{eff} + s_w \cdot s + L \cdot s \cdot F_1} \tag{A20}$$

und an den Spanten:

$$\sigma_{x,F}^b = \pm\left(\sigma_o - \sigma_{\varphi,F}^m\right)F_3 \tag{A21}$$

Das positive Vorzeichen ist für die Außenseite der Zylinderschale gültig, das negative Vorzeichen für die Innenseite.

Biegespannungen in Umfangsrichtung in der Mitte zwischen den Spanten:

$$\sigma^{b}_{\varphi,M} = \nu \cdot \sigma^{b}_{x,M} \tag{A22}$$

und an den Spanten:

$$\sigma^{b}_{\varphi,F} = \nu \cdot \sigma^{b}_{x,F} \tag{A23}$$

Die Umfangsspannung folgt aus der radialen Verschiebung zu:

$$\sigma^{m}_{\varphi,Fw} = E\frac{w_F}{R} \tag{A24}$$

im Spantfuß

bzw.

$$\sigma^{m}_{\varphi,Ff} = E\frac{w_F}{R_f} \tag{A25}$$

im Spantgurt.

Die in Tabelle A.1 zusammengestellten Vergleichsspannungen sowie die Umfangsspannungen im Spant sind mit dem zum jeweiligen Lastfall zugehörigen Wert der zulässigen Spannung $\sigma_{zul,NDP}$, $\sigma_{zul,TDP}$, bzw. $\sigma_{zul,CDP}$ nach den GL Vorschriften für Bemannte Unterwasserfahrzeuge (I-5-2), Abschnitt 5, D.3. zu begrenzen.

1.3 Berechnung der Spannungen für einen konischen Druckkörper

Die oben angegebenen Formeln sind auch für ausgesteifte konische Schalen anwendbar.

Die entsprechenden Formeln sind unter Verwendung des halben Öffnungswinkels α zu modifizieren. Dafür ergibt sich der mittlere Radius zu:

$$R_{m,eqv} = R_m / \cos\alpha \tag{A26}$$

und der gleichwertige Spantabstand ergibt sich zu:

$$\begin{aligned} L_{F,eqv} &= L_F / \cos\alpha, \text{ bzw.} \\ L_{eqv} &= L / \cos\alpha. \end{aligned} \tag{A27}$$

R_m = Radius zwischen den Spanten im betrachteten Bereich

Die Berechnung ist für beide Spanten des untersuchten Feldes auszuführen. Die Abmessungen der Spanten sind mit dem Radiusverhältnis $R_m/R_{m,F}$ zu multiplizieren. Für die folgende Berechnung der Zerstörungsdrücke ist der (absolut) größte Wert entscheidend.

2. Berechnung des Zerstörungsdrucks für asymmetrische Beulung der Außenhaut zwischen den Versteifungen in gleichförmig ausgesteiften Bereichen des Druckkörpers

2.1 Für konische Druckkörper sind die gleichen Werte, wie für die obige Spannungsberechnung definiert, zu verwenden.

Zur Berechnung des minimalen Beuldrucks, der von der Anzahl der Wellen in Umfangsrichtung abhängt, kann die folgende Annäherung verwendet werden:

2.2 Elastischer Beuldruck:

$$p^{el}_{cr} = \frac{2\cdot\pi^2\cdot E\cdot f}{3\cdot\Phi\cdot\left(1-\nu^2\right)}\cdot\left(\frac{s}{R_m}\right)^2\cdot\frac{\frac{R_m\cdot s}{L^2}}{3-2\cdot\Phi\cdot(1-f)} \tag{A28}$$

Theoretischer elastisch-plastischer Beuldruck:

$$p^{i}_{cr} = p^{el}_{cr}\cdot\frac{1-\nu^2}{1-\nu_p^2}\cdot\left\{\frac{E_t}{E}\cdot\left(1-\frac{3\Phi}{4}\right)+\frac{E_s}{E}\cdot\frac{3\Phi}{4}\right\} \tag{A29}$$

mit:

$$\Phi = 1{,}23\,\frac{\sqrt{R_m\cdot s}}{L} \tag{A30}$$

$$f = \frac{\sigma^{m}_{x}}{\sigma^{m}_{\varphi,M}} \tag{A31}$$

$$\sigma_v = \sqrt{\left(\sigma^{m}_{\varphi,M}\right)^2+\left(\sigma^{m}_{x}\right)^2-\sigma^{m}_{\varphi,M}\cdot\sigma^{m}_{x}} \tag{A32}$$

Für Sekantenmodul:

$$E_s = \frac{\sigma_v}{\varepsilon_v} \tag{A33}$$

Für Tangentenmodul:

$$E_t = \frac{d\sigma_v}{d\varepsilon_v} \tag{A34}$$

Für elastisch-plastische Poissonzahl:

$$\nu_p = 0{,}5-(0{,}5-\nu)\frac{E_s}{E} \tag{A35}$$

f, $\sigma_{v\cdot}$, E_s, E_t sind Funktionen des zu bestimmenden elastisch-plastischen Beuldrucks p_{cr}^{i}. Für die iterative Bestimmung von p_{cr}^{i} kann der Wert f für den Zerstörungsdruck **CDP** errechnet und für die folgende Berechnung als konstant angenommen werden. σ_v kann durch lineare Extrapolation ausgehend vom Berechnungsdruck **CDP** bestimmt werden.

2.3 Sekantenmodule und Tangentenmodule von Stählen

Für verschiedene Stahlsorten gilt:

$$z = \frac{\sigma_e}{\sigma_{0,2}} \quad \text{(A36)}$$

σ_e = Proportionalitätsgrenze

$\sigma_{0,2}$ = 0,2 % Stauchgrenze, R_{eH}

z = 0,8 für ferritische Stähle

= 0,6 für austenitische Stähle

Für $\sigma_v > \sigma_e$ gelten die in 2.3.1 und 2.3.2 angeführten Formeln

Für $\sigma_v \le \sigma_e$ gilt:

$$E_s = E_t = E \quad \text{(A37)}$$

2.3.1 Module für z ≥ 0,8

$$E_t = E \cdot \left\{ 1 - \left(\frac{\sigma_v - z \cdot \sigma_{0,2}}{(1-z) \cdot \sigma_{0,2}} \right)^2 \right\} \quad \text{(A38)}$$

$$E_s = E \cdot \frac{\sigma_v}{\sigma_{0,2} \left(z + (1-z) \operatorname{arc\,tanh} \frac{\sigma_v - z \cdot \sigma_{0,2}}{(1-z) \cdot \sigma_{0,2}} \right)} \quad \text{(A39)}$$

2.3.2 Module für z < 0,8

$$E_t = E \cdot \left\{ 1 - k \left(\frac{\sigma_v - z \cdot \sigma_{0,2}}{(1-z) \cdot \sigma_{0,2}} \right) \right\} \quad \text{(A40)}$$

$$E_s = E \cdot \frac{\sigma_v}{z \cdot \sigma_{0,2} - \frac{1}{k}(1-z) \cdot \sigma_{0,2} \ln \left(1 - k \frac{\sigma_v - z \cdot \sigma_{0,2}}{(1-z) \cdot \sigma_{0,2}} \right)} \quad \text{(A41)}$$

k ist aus der Bedingung zu berechnen:

$$\sigma_{0,2} + 0,002 \cdot E = z \cdot \sigma_{0,2} - \frac{1}{k}(1-z) \cdot \sigma_{0,2} \cdot \ln(1-k) \quad \text{(A42)}$$

zumindest mit der Genauigkeit auf zwei Dezimalen.

2.4 Sekantenmodule und Tangentenmodule für andere metallische Werkstoffe

Für andere metallische Werkstoffe ist z zu vereinbaren.

2.5 Es ist nachzuweisen, dass der Zerstörungsdruck, welcher der theoretische elastisch-plastische Beuldruck $p_{cr}^{\ i}$ multipliziert mit dem Abminderungsfaktor r ist, mindestens gleich dem Berechnungsdruck **CDP** des Druckkörpers ist.

Mit dem Abminderungsfaktor:

$$r = 1 - 0,25 \cdot e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{p_{cr}^{el}}{p_{cr}^{i}} - 1 \right)} \quad \text{(A43)}$$

3. Berechnung des Zerstörungsdrucks für symmetrische Beulung der Außenhaut zwischen den Versteifungen in gleichförmig ausgesteiften Bereichen des Druckkörpers

3.1 Für konische Druckkörper sind die gleichen Ersatzwerte, wie für die obige Spannungsberechnung definiert, zu verwenden.

3.2 Elastischer Beuldruck:

$$p_{cr}^{el} = \frac{2}{\sqrt{3(1-\nu^2)}} \cdot E \cdot \frac{s^2}{R_m^2} \left\{ \left[\frac{2 \cdot L}{\pi \cdot L_{eff}} \right]^2 + \frac{1}{4} \left[\frac{\pi \cdot L_{eff}}{2 \cdot L} \right]^2 \right\} \quad \text{(A44)}$$

Theoretischer elastisch-plastischer Beuldruck:

$$p_{cr}^{i} = \frac{2}{\sqrt{3(1-\nu^2)}} \cdot E_s \cdot \frac{s^2}{R_m^2} \cdot C \cdot \left\{ \left[\frac{\alpha \cdot L}{\pi} \right]^2 + \frac{1}{4} \left[\frac{\pi}{\alpha \cdot L} \right]^2 \right\} \quad \text{(A45)}$$

mit:

$$\alpha = \sqrt[4]{\frac{3 \left(\frac{A_2}{A_1} - \nu_p^2 \frac{A_{12}^2}{A_1^2} \right)}{R_m^2 \cdot s^2}} \quad \text{(A46)}$$

$$C = \sqrt{\frac{A_1 \cdot A_2 - \nu_p^{\ 2} \cdot A_{12}^2}{1 - \nu_p^2}} \quad \text{(A47)}$$

$$\nu_p = \frac{1}{2} - \frac{E_s}{E} \left(\frac{1}{2} - \nu \right) \quad \text{(A48)}$$

$$A_1 = 1 - \frac{1 - E_t / E_s}{4 (1-\nu_p^2) K^2 \cdot H} \left[(2-\nu_p) - (1-2 \cdot \nu_p) k \right]^2 \quad \text{(A49)}$$

$$A_2 = 1 - \frac{1 - E_t / E_s}{4 (1-\nu_p^2) K^2 \cdot H} \left[(1-2 \cdot \nu_p) - (2-\nu_p) k \right]^2 \quad \text{(A50)}$$

$$A_{12} = 1 + \frac{1 - E_t / E_s}{4 \nu_p (1-\nu_p^2) K^2 \cdot H} \left[(2-\nu_p) - (1-2 \cdot \nu_p) k \right] \cdot \left[(1-2 \cdot \nu_p) - (2-\nu_p) k \right] \quad \text{(A51)}$$

$$H = 1 + \frac{1 - E_t / E_s}{4 \left(1-\nu_p^2 \right) K^2} \left\{ \left[\left(2-\nu_p \right) - \left(1-2 \cdot \nu_p \right) k \right]^2 - 3 \left(1-\nu_p^2 \right) \right\} \quad \text{(A52)}$$

$$k = \frac{\sigma_{\varphi,M}^m}{\sigma_x^m} \quad \text{(A53)}$$

$$K^2 = 1 - k + k^2 \quad \text{(A54)}$$

Das Verfahren zur Ermittlung des theoretischen elastisch-plastischen Beuldrucks ist analog zu dem für asymmetrische Beulung beschriebenen Verfahren.

3.3 Es ist nachzuweisen, dass der Zerstörungsdruck, welcher der theoretische elastisch-plastische Beuldruck p_{cr}^{i} multipliziert mit dem Abminderungsfaktor r ist, mindestens gleich ist dem Berechnungsdruck **CDP** des Druckkörpers.

Mit dem Abminderungsfaktor:

$$r = 1 - 0,25\, e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{p_{cr}^{el}}{p_{cr}^{i}} - 1\right)} \qquad \text{(A55)}$$

4. Nachweis des Zerstörungsdrucks für die Gesamtinstabilität unter Berücksichtigung von Rahmenspanten

4.1 Der Nachweis der Gesamtinstabilität ist auf Basis einer Spannungsberechnung, welche die Gleichgewichtskriterien in einem verformten Zustand erfüllt, durchzuführen. Als Vorverformung ist die Unrundheit der Spanten zu berücksichtigen. Es ist nachzuweisen, dass die zulässige Unrundheit entsprechend Anhang B nicht zu einem Gesamtversagen führen kann.

4.2 Berücksichtigung des Spannungs-Dehnungsverhaltens

Für austenitische Stähle und andere Werkstoffe, für welche $\sigma_{0,01} < 0,8 \cdot \sigma_{0,2}$ gilt, ist das tatsächliche Spannungs-Dehnungsverhalten durch entsprechende Berechnung zu berücksichtigen. Der mit den zulässigen Unrundheiten und Spantschrägstellungen verformte Druckkörper ist stufenweise mit Druck zu beaufschlagen. Zur Berechnung der zunehmenden elastischen Verschiebungen und Spannungen, sind die Deformationen im Gleichgewichtszustand und das aktuelle, örtliche Werkstoffverhalten zu berücksichtigen.

Für Werkstoffe mit $\sigma_{0,01} \geq 0,8 \cdot \sigma_{0,2}$ kann ein linear elastisches Verhalten für eine Spannungsberechnung nach der Theorie 2. Ordnung angenommen werden. In diesem Fall sind die folgenden Spannungsgrenzen (ohne Berücksichtigung von örtlichen Schwächungen) einzuhalten:

– Die Summe der Grundspannung und der Spannung infolge von Unrundheit im Spantgurt soll $\sigma_{0,2}$ nicht überschreiten.

– Die Summe der Grundspannung und der Spannung infolge von Unrundheit im Gurt eines Rahmenspants soll 80 % von $\sigma_{0,2}$ nicht überschreiten.

4.3 Das Berechnungsverfahren ist im Folgenden beschrieben:

Definitionen:

p = Zerstörungstauchdruck für den Druckkörper **CDP**

$n \geq 2$ = Umfangswellenzahl der Unrundheit

w_0 = maximale zulässige Unrundheit des Druckkörpers entsprechend Anhang B

R_m = mittlerer Radius des Druckkörpers im betrachteten Feld

$R_{m,F/D}$ = mittlerer Radius des Druckkörpers beim betreffenden Spant oder Rahmenspant

e = Abstand vom Flächenschwerpunkt des Spants oder Rahmenspants zusätzlich der mittragenden Breite der Außenhaut zum äußersten Punkt des Gurts (siehe Abb. A.2). Für Kegelschalen gilt e' =e/cosα

R_C = Radius zum Flächenschwerpunkt der Querschnittsfläche des Spants oder Rahmenspants

L_D = Länge der Mantellinie im betrachteten Rahmenspant-Bereich

$L_{D,r}$, $L_{D,l}$ = Länge der Mantellinie des benachbarten, rechts und links liegenden Feldes, abhängig von den Grenzen des Feldes für welches der Nachweis durchgeführt wird (siehe Abb. A.3)

L_B = Abstand zwischen Schotten

$$\beta_D = \frac{\pi \cdot R_m}{L_D}; \quad \beta_B = \frac{\pi \cdot R_m}{L_B} \qquad \text{(A56) (A57)}$$

α = halber Öffnungswinkel (siehe Abb. A.2)

Im Allgemeinen ist der Öffnungswinkel nicht konstant, weder im Rahmenspantfeld noch im anschließenden Bereich. Welcher Winkel entscheidend ist, wird im Folgenden für jeden Einzelfall beschrieben.

I, I_D = Flächenträgheitsmoment des Spants bzw. Rahmenspants einschließlich der mittragenden Breite der Außenhaut des Druckkörpers, bezogen immer parallel zur Achse des Druckkörpers

Die mittragende Breite ist:

$$L_{eff} = \frac{2}{\sqrt[4]{3\left(1-\nu^2\right)}} \sqrt{R_{m,F} \cdot s / \cos\alpha} \qquad \text{(A58)}$$

aber nicht größer als der Mittelwert der beiden anschließenden Spantabstände.

α_{Dl}, α_{Dr} = der örtliche halbe Öffnungswinkel am benachbarten Rahmenspant, rechts bzw. links

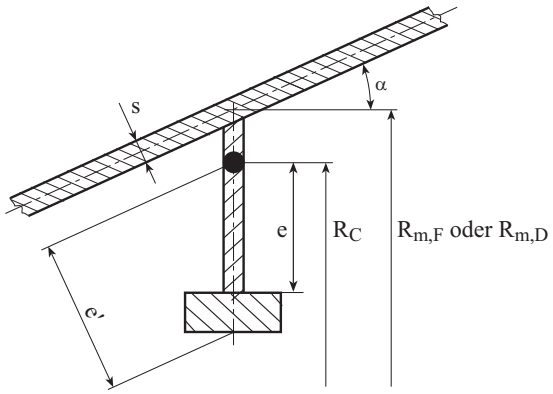


Abb. A.2 Situation an einem Spant oder Rahmenspant

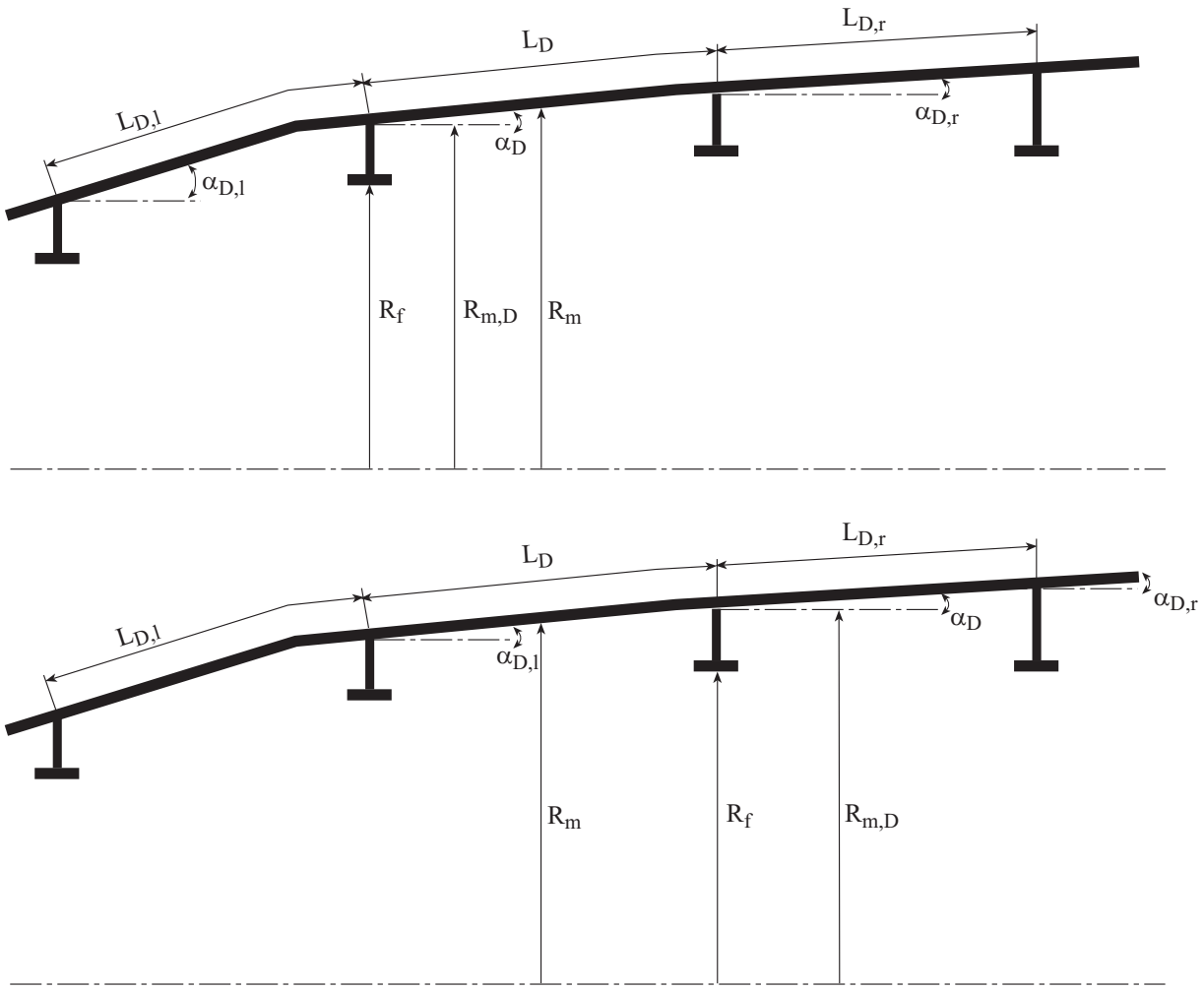


Abb. A.3 Gesamtinstabilität – beide Berechnungsfälle für einen konischen Druckkörper

Das Flächenträgheitsmoment ist auf den Radius R_m des aktuellen Feldes durch Multiplikation mit dem Verhältnis $(R_m/R_{m,F})^4$ umzurechnen.

Der Nachweis ist für jeden Bereich des Druckkörpers, der durch Rahmenspanten, Schotte und Endböden begrenzt ist, durchzuführen. Endböden sind als Schotte zu betrachten.

Ein Bereich des Druckkörpers, der für die Gesamtinstabilität relevant ist, kann durch zwei Rahmenspanten, gefolgt von zwei benachbarten Rahmenspant- (oder Schott-) -feldern an jedem Ende begrenzt sein, vergleiche Abb. A.3. Der Nachweis ist für beide in Frage kommenden, benachbarten Felder auszuführen. Der ungünstigste Fall ist entscheidend.

4.4 Grundspannung in den Spanten und Rahmenspanten

Die Grundspannung im Spantgurt ist entsprechend 1.2, Gleichung (A25) für R = R_f zu berechnen.

Der Einfluss des halben Öffnungswinkels α ist explizit in den folgenden Formeln berücksichtigt.

Die Grundspannung in einem Rahmenspant kann konservativ entsprechend den folgenden Formeln bestimmt werden:

$$\sigma_{\varphi,D} = -\frac{p \cdot R_m \cdot L_{eff} \left(1-\nu/2\right) \frac{R_m}{R_f}}{A_D \frac{R_m}{R_D} + L_{eff} \cdot s} \frac{1}{\cos\alpha} \qquad \text{(A59)}$$

R_f = Radius des Gurts

$$L_{eff} = \frac{2}{\sqrt[4]{3\,(1-\nu^2)}} \sqrt{R_m \cdot s / \cos\alpha} \qquad \text{(A60)}$$

Es ist zu beachten, dass A_D die reine Querschnittsfläche des Rahmenspants ist und R_D der zugehörige Radius. Für die Dicke der Zylinderschale s ist die örtlich verstärkte Außenhautdicke am Rahmenspant zu verwenden, soweit anwendbar.

Die Biegespannung im Spant bzw. Rahmenspant ist:

$$\sigma_{\varphi,D} = \pm w_{el} \cdot E \cdot e \frac{n^2-1}{{R_C}^2} \qquad \text{(A61)}$$

R_C = siehe Abb. A.2

Die elastische Verformung w_{el} für Spanten ergibt sich zu:

$$w_{el} = w_0 \frac{p}{p_g^n - p} \tag{A62}$$

und für Rahmenspanten:

$$w_{el} = w_0 \frac{p}{p_g^n - p} \frac{p_m}{p_m + p_D} \tag{A63}$$

Mit dem Membranteil:

$$p_m = \frac{E \cdot s}{R_m} \cos^3 \alpha \frac{\beta^4}{(n^2 - 1 + \beta^2/2)(n^2 + \beta^2)^2} \tag{A64}$$

α ist der mittlere halbe Öffnungswinkel und s ist die mittlere Dicke der Zylinderschale im betrachteten Feld.

Und mit dem Anteil des Rahmenspants p_D:

$$p_D = \frac{2(n^2 - 1) E \cdot I_D \cdot \cos^3 \alpha}{R_{C,D}^2 [R_m - 4(R_m - R_{C,D})](L_D + L_{D,l/r})} \cdot \frac{n^2 - 1}{n^2 - 1 + \beta_B^2/2} \tag{A65}$$

α ist der maximale halbe Öffnungswinkel für den Bereich des Druckkörpers beginnend in der Mitte des betrachteten Feldes und endend in der Mitte des anschließenden Feldes:

$\alpha_{max} = \max(\alpha; \alpha_{Dl})$ bzw. $\alpha_{max} = \max(\alpha; \alpha_{Dr})$

siehe Abb. A.3

$R_{C,D}$ gilt für Rahmenspanten.

Der Druck p_g^n für die Gesamtinstabilität ist folgendermaßen zu ermitteln:

$$p_g^n = p_F + \frac{p_m \cdot p_D}{p_m + p_D} + p_B \tag{A66}$$

unter Benützung von p_m und p_D wie oben beschrieben und dem Spantanteil p_F sowie dem Schottanteil p_B wie folgt:

$$p_F = \frac{(n^2 - 1) E \cdot I_F}{R_{C,F}^3 \cdot L_F} \cos^4 \alpha \frac{n^2 - 1}{n^2 - 1 + \beta^2 \frac{1}{2} \frac{p_D}{p_D + p_m}} \tag{A67}$$

$R_{C,F}$ bezieht sich auf Spanten.

$$p_B = \frac{E \cdot s}{R_m} \cos^3 \alpha \frac{\beta_B^4}{(n^2 - 1 + \beta_B^2/2)(n^2 + \beta_B^2)^2} \tag{A68}$$

α wird hier verstanden als der mittlere halbe Öffnungswinkel im betrachteten Feld.

Der Anteil des Spants ist mit den Abmessungen eines Ersatzspants mit Ersatzspantabstand zu berechnen. Im Allgemeinen sind dies die Abmessungen des Spants der dem mittleren Punkt des berechneten Feldes am nächsten ist, wobei diese wie in 1.3 beschrieben auf den mittleren Radius des Feldes umzurechnen sind.

Die folgende Bedingung ist einzuhalten:

Für jeden Spant des betrachteten Feldes ist die zulässige Unrundheit für n = 5 unter Annahme einer unendlichen Feldlänge ($\beta_D = 0$) für p_g^5 zu berechnen. Das arithmetische Mittel der Werte für die auf diese Weise ermittelte Unrundheit von drei benachbarten Spanten dividiert durch den zugehörigen Spantradius soll nicht kleiner sein als die Unrundheit für den Ersatzspant, der auf analoge Weise ermittelt wurde.

5. Überprüfung des Zerstörungsdrucks für das Kippen der Spanten

5.1 Stabilität gegen Kippen

Der Nachweis der Stabilität gegen Kippen ist für Spanten und Rahmenspanten auf Basis einer Spannungsberechnung durchzuführen, welche das Gleichgewicht im verformten Zustand erfüllt. Als Vorverformung können die in Anhang B definierten Toleranzen herangezogen werden.

Bezüglich der Berücksichtigung des Spannungs-/Dehnungsverhaltens gelten die in 4.2 definierten Vorschriften.

Für Werkstoffe mit $\sigma_{0,01} \geq 0{,}8 \cdot \sigma_{0,2}$ kann linear elastisches Verhalten für die Spannungsberechnung nach der Theorie 2. Ordnung angenommen werden. Die folgenden Spannungsgrenzen sind zu berücksichtigen (ohne Berücksichtigung von örtlichen Schwächungen des Werkstoffs):

– Die Vergleichsspannung im Steg des Spants soll $\sigma_{0,2}$ nicht überschreiten.

– Die Spannung in Umfangsrichtung im Gurt des Spants soll $\sigma_{0,2}$ nicht überschreiten.

Die zu berücksichtigenden Einflüsse in diesem Verfahren sind im Folgenden definiert.

5.2 Zusätzliche Spannungen durch Formabweichungen des Spants

Die zusätzlichen Spannungen die durch Formabweichungen des Spantquerschnitts verursacht werden, sind für innen liegende Spanten entsprechend den folgenden Formeln zu ermitteln. Siehe auch Abb. A.4.

Die Imperfektionen "Neigung des Steges zur Ebene des Spants θ", "Exzentrizität des Gurtes zum Steg u_{ex}" und "Spantfuß-Versatz aus der Spantebene d" sind in Anhang B, C.2.5 bis C.2.7 definiert.

$$h'_w = h_w + \frac{s_f}{2} \tag{A69}$$

$$\beta = \frac{h'_w}{R} \tag{A70a}$$

$$R'_f = R_f + \frac{s_f}{2} \tag{A70b}$$

$$\beta_f = \frac{h'_w}{R'_f} \tag{A71}$$

$$A'_f = b_f\ s_f - \frac{s_f \cdot s_w}{2} \tag{A72}$$

$$I_f = \frac{b_f^3 \cdot s_f}{12} \tag{A73}$$

$$J_f = \frac{b_f \cdot s_f^3}{6\,(1+\nu)} \tag{A74}$$

$$A'_w = h'_w \cdot s_w \tag{A75}$$

$$D = \frac{E \cdot s_w^3}{12\,(1-\nu^2)} \tag{A76}$$

$$L_0 = \frac{\sigma_0 \cdot A_F}{R} \tag{A77}$$

$$F_f = \sigma_0 \cdot A'_f \tag{A78}$$

σ_0 = Grundspannung im Gurt entsprechend 5.3/5.4

$$\lambda = \frac{A'_w}{A_F} \tag{A79}$$

n = Anzahl der Umfangswellen der Formabweichungen, Die Berechnung ist für n = 3 auszuführen

$$e = \frac{h'^2_w \cdot L_0}{D} - 2 \cdot n^2 \cdot \beta^2 \tag{A80}$$

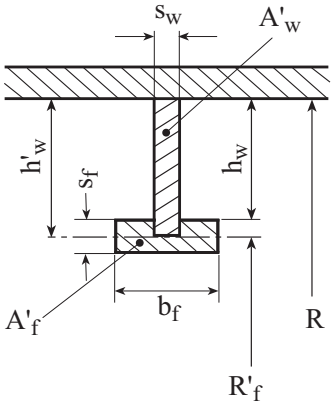


Abb. A.4 Örtliche Situation am Spant

$$\varepsilon = \lambda \frac{h'^2_w \cdot L_0}{D} \tag{A81}$$

$$g = n^2 \cdot \beta \left(\lambda \frac{h'^2_w \cdot L_0}{D} - n^2 \cdot \beta^3 \right) \tag{A82}$$

$$k_{11} = 12 - 1{,}2 \cdot e + 0{,}6 \cdot \varepsilon - \frac{13}{35} g \tag{A83}$$

$$k_{12} = 6 - 0{,}1 \cdot e - \frac{11}{210} g + \nu \cdot n^2 \cdot \beta^2 \tag{A84}$$

$$k_{22} = 4 - \frac{2}{15} e + 0{,}1 \cdot \varepsilon - \frac{g}{105} \tag{A85}$$

$$k_{31} = 6 - 0{,}1 \cdot e + 0{,}1 \cdot \varepsilon + \frac{13}{420} g \tag{A86}$$

$$k_{32} = 2 + \frac{e}{30} - \frac{\varepsilon}{60} + \frac{g}{140} \tag{A87}$$

$$A_{11} = \frac{n^2 E}{R_f^4} \left(n^2 \cdot I_f + J_f \right) + \frac{D}{h'^3_w} k_{11} - n^2 \frac{F_f}{R_f^2} \tag{A88}$$

$$A_{12} = \frac{n^2 \cdot E}{R_f^3} \left(I_f + J_f \right) - \frac{D}{h'^2_w} k_{12} \tag{A89}$$

$$A_{22} = \frac{E}{R_f^2} \left(I_f + n^2 \cdot J_f \right) + \frac{D}{h'_w} k_{22} \tag{A90}$$

Größen der elastischen Verschiebung u und Verdrehung ω der Verbindung Steg-Gurt:

$$u = \frac{1}{Det} \left(B_1 \cdot A_{22} - B_2 \cdot A_{12} \right) \tag{A91}$$

$$\omega = \frac{1}{Det} \left(B_2 \cdot A_{11} - B_1 \cdot A_{12} \right) \tag{A92}$$

mit

$$Det = A_{11} \cdot A_{22} - A_{12}^2 \tag{A93}$$

$$B_1 = \theta \left[\frac{F_f}{R_f} \left(1 + n^2 \cdot \beta_f \right) - L_0 \cdot \lambda \cdot k_{1,\theta} \right] + u_{ex} \frac{F_f}{R_f \cdot h'_w} \cdot n^2 \cdot \beta_f + d \frac{L_0 \cdot n^2 \cdot \beta_f}{h'_w} \left[(1-\lambda) \frac{R}{R_f} - \lambda \cdot k_{1,d} \right] \tag{A94}$$

$$B_2 = -\theta \cdot L_0 \cdot \lambda \cdot h'_w \cdot k_{2,\theta} + u_{ex} \frac{F_f}{R_f} - d \cdot L_0 \cdot \lambda \cdot n^2 \cdot \beta_f \cdot k_{2,d} \tag{A95}$$

wobei:

$$k_{1,\theta} = \frac{1}{2}\left(-1-\frac{\varepsilon}{420}+0,013\cdot g+0,015\cdot e^2 -0,025\cdot e\cdot\varepsilon-0,7\cdot n^2\cdot\beta\right) \quad \text{(A96)}$$

$$k_{1,d} = \frac{1}{2}\left(-1-\frac{\varepsilon}{420}+0,013\cdot g+0,015\cdot e^2-0,025\cdot e\cdot\varepsilon\right) \quad \text{(A97)}$$

$$k_{2,\theta} = \frac{1}{12}\left[1+\frac{e}{60}-\frac{\varepsilon}{105}-\frac{g}{140}-0,008\cdot e^2 +0,013\cdot e\cdot\varepsilon+0,6\cdot n^2\cdot\beta\left(1+\frac{19\cdot e}{1260}+\frac{25\cdot\varepsilon}{336}\right)\right] \quad \text{(A98)}$$

$$k_{2,d} = \frac{1}{12}\left(1+\frac{e}{60}-\frac{\varepsilon}{105}-\frac{g}{140}-0,008\cdot e^2+0,013\cdot e\cdot\varepsilon\right) \quad \text{(A99)}$$

Die Spannungen im Gurt sind wie folgt:

$$\sigma^b_{r,F/Df} = \pm\frac{E\cdot b_f}{2\cdot R_f^2}\left(n^2\cdot u+R_f\cdot\omega\right) \quad \text{(A100)}$$

Biegung um die radiale Achse, und

$$\tau_{t,F/Df} = \frac{n\cdot E\cdot s_f}{2(1+\nu)R_f^2}\left(u+R_f\cdot\omega\right) \quad \text{(A101)}$$

Torsion um tangentiale Achse, welche gegenüber $\sigma^b_{r,F/Df}$ um eine Viertelperiode phasenverschoben ist.

Die Biegespannung am Fuß des Stegs ist:

$$\sigma^b_{r,F/Dw} = \pm\frac{6}{s_w^2}\left[\frac{D}{h_w'^2}\left(k_{31}\cdot u-k_{32}\cdot h_w'\cdot\omega\right) +\lambda L_0\left(k_{3,\theta}\cdot h_w'\cdot\theta+k_{3,d}\cdot n^2\cdot\beta\cdot d\right)\right] \quad \text{(A102)}$$

mit

$$k_{3,\theta} = \frac{1}{12}\left(1+\frac{e}{60}-\frac{\varepsilon}{140}+0,4\cdot n^2\cdot\beta \cdot\left(1+0,019\cdot e-0,009\cdot\varepsilon\right)\right) \quad \text{(A103)}$$

und

$$k_{3,d} = \frac{1}{12}\left(1+\frac{e}{60}-\frac{\varepsilon}{140}\right) \quad \text{(A104)}$$

Die Spannungen, welche aus den Formabweichungen der Spanten resultieren, sind für Spanten und Rahmenspanten unter Verwendung verschiedener Methoden zu überprüfen.

5.3 Spanten

Für die Spannung σ_0 ist immer $\sigma_{0,2}$ des Spantwerkstoffs zu verwenden.

Die Biegesteifigkeit des Gurts ist zu vernachlässigen, d.h. ist Null zu setzen ($I_f = 0$).

Die Vergleichsspannung am Fuß des Stegs ist mit dem Berechnungsdruck für beide Vorzeichen der Biegespannung $\sigma^b_{r,Fw}$ gemäß Formel (A102) zu ermitteln.

Spannung in Umfangsrichtung:

$$\sigma^{m+b}_{\varphi,F} = \sigma^m_{\varphi,Fw}+\frac{e_2}{e_1}\cdot\sigma_{O/R}\pm\nu\cdot\sigma^b_{r,Fw} \quad \text{(A105)}$$

mit $\sigma^m_{\varphi,Fw}$ entsprechend 1.2, Gleichung (A24), vergleiche Abb. A.5 und

$$\sigma_{O/R} = \sigma_{0,2}+\sigma^m_{\varphi,Ff} \quad \text{(A106)}$$

mit $\sigma^m_{\varphi,Ff}$ entsprechend 1.2, Gleichung (A25)

Radiale Spannung:

$$\sigma_r = -\frac{L_0}{s_w}\pm\sigma^b_{r,Fw} \quad \text{(A107)}$$

Die Vergleichsspannung:

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_\varphi{}^2+\sigma_r{}^2-\sigma_\varphi\cdot\sigma_r} \quad \text{(A108)}$$

darf $\sigma_{0,2}$ nicht überschreiten.

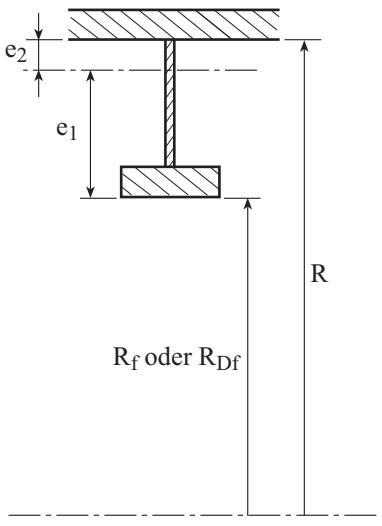


Abb. A.5 Situation am Spant im Bezug auf die Achse des Druckkörpers

5.4 Rahmenspanten

Für die Grundspannung im Gurt σ_0 ist der Betrag der Umfangsspannung $\left|\sigma_{\varphi,D}\right|$ nach Formel (A59) bei der halben zulässigen Unrundheit einzusetzen, die sich aus dem Nachweis der Gesamtinstabilität nach 4. für n = 2 Umfangswellen ergibt.

Es ist nachzuweisen, dass:

a) $$\sigma_0 + \left|\sigma^b_{r,Df}\right| \le \sigma_{0,2} \qquad \text{(A109)}$$

b) $$\sqrt{\sigma_0^2 + 3\cdot\tau^2_{t,Df}} \le \sigma_{0,2} \qquad \text{(A110)}$$

mit $\sigma^b_{r,Df}$ gemäß Formel (A100) und $\tau_{t,Df}$ gemäß Formel (A101) unter der Berücksichtigung der entsprechenden Abmessungen der Rahmenspanten

und die Vergleichsspannung am Fuß des Steges

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_\varphi^2 + \sigma_r^2 - \sigma_\varphi\cdot\sigma_r} \le \sigma_{0,2} \qquad \text{(A111)}$$

Die Umfangsspannung σ_φ ist die Summe der Grundspannung $\sigma_{\varphi,D}$ welche mit der Formel (A59) in 4.4 gewonnen wird, und ν-mal der Biegespannung des Stegs $\sigma^b_{r,Dw}$ entsprechend Formel (A102):

$$\sigma_\varphi = \sigma_{\varphi,D} + \nu\cdot\sigma^b_{r,Dw} \qquad \text{(A112)}$$

Die Radialspannung ist:

$$\sigma_r = \frac{-A_f\cdot\sigma_0 + A_w\cdot\sigma_D}{R_D\cdot s_w} \pm \sigma^b_{r,Dw} \qquad \text{(A113)}$$

Für die Berechnung von σ_0 kann die folgende, vereinfachte Formel verwendet werden:

$$\sigma_0 = \frac{1}{2}\left|\sigma_{\varphi,D}\right| + 0,4\cdot\sigma_{0,2} \qquad \text{(A114)}$$

5.5 Modifikationen für außen angeordnete Spanten

Für außen angeordnete Spanten sind alle Radien (R, R_f, R_{Df}) mit negativen Werten einzusetzen.

6. Kugelförmige Schalen und gewölbte Böden

6.1 Allgemeines

Kugelschalen und gewölbte Böden sind für die in den Vorschriften für Bemannte Unterwasserfahrzeuge (I-5-2), Abschnitt 4, E. bzw. Unbemannte Unterwasserfahrzeuge (ROV, AUV) und Unterwasser-Arbeitsmaschinen (I-5-3), Abschnitt 3, C.1.6 genannten Lastfälle gegen Spannungsüberschreitung und Beulen zu untersuchen. Bei gewölbten Böden sind die Spannungen in der Kalotte und in der Krempe zu untersuchen. Kugeln sind wie der Kalottenbereich von gewölbten Böden zu behandeln.

6.2 Spannungen

Für den Kalottenbereich ergibt sich die Spannung aus Formel (A118). Für den Krempenbereich kann die Spannung mit Formel (A119) ermittelt werden. Die Beiwerte β sind entsprechend den GL Vorschriften für Maschinenanlagen (I-1-2), Abschnitt 7a, D.4.3.2 zu bestimmen. Sie können auch unmittelbar mit Hilfe folgender Formeln ermittelt werden:

Für Klöpperböden:

$$\beta = 0,6148 - 1,6589\cdot x - 0,5206\cdot x^2 - 0,0571\cdot x^3 \qquad \text{(A115)}$$

und für Korbbogenböden:

$$\beta = 1,3282 - 0,3637\cdot x - 0,1293\cdot x^2 - 0,0171\cdot x^3 \qquad \text{(A116)}$$

$$\text{mit } x = \ln\left(\frac{s}{D_a}\right) \qquad \text{(A117)}$$

$$\text{im Geltungsbereich } 0,001 \le \frac{s}{D_a} \le 0,1$$

D_a = Außendurchmesser des gewölbten Bodens

Im Bereich $0,5\cdot\sqrt{s\cdot R}$ neben dem Übergang zum Zylinder gilt für die Halbkugelböden der Beiwert β = 1,1.

Vorausgesetzt, dass die Formabweichungen von gewölbten Böden innerhalb der zulässigen Toleranzen bleiben, können die Spannungen mit folgenden Formeln berechnet werden. Sind die Toleranzen überschritten, ist ein gesonderter Spannungsnachweis zu führen.

$$\sigma = -\frac{R_{c,o,l}{}^2\cdot p}{2\cdot R_{c,m,l}\cdot s} \qquad \text{(A118)}$$

$R_{c,o,l}$ = örtlicher Außenradius der Kugelkalotte des gewölbten Bodens

$R_{c,m,l}$ = örtlicher Radius der Kugelkalotte des gewölbten Bodens auf halber Schalendicke

$$\sigma = -\frac{p\cdot D_a\cdot 1,2\cdot\beta}{4\cdot s} \qquad \text{(A119)}$$

Für p ist jeweils **NDP**, **TPD** und **CPD** einzusetzen.

Der Nachweis ist erbracht, wenn die zulässigen Spannungen nach den GL Vorschriften für Bemannte Unterwasserfahrzeuge (I-5-2), Abschnitt 5, D.3. nicht überschritten sind.

6.3 Berechnung des Zerstörungsdrucks

Die Berechnungen basieren auf der örtlichen Schalendicke und -krümmung und sie berücksichtigen eine Unrundheit der Schale im Sinne örtlicher Abflachung bis maximal $u = 0,218\cdot s_l/R_o$. Das gilt für gepresste Kugelschalen und entspricht einem örtlichen äußeren Krümmungsradius von $R_{o,l} = 1,3\cdot R_o$.des nominellen äußeren Radius.

Die Unrundheit und somit der örtliche Radius ist mit einer Brückenlehre, wie in Anhang B, E. beschrieben, zu ermitteln. Dabei ist eine Messlänge $L_{cr,l}$ nach Formel (A120) zu verwenden. Die so definierte Unrundheit ist als eine örtliche Abflachung von der theoretischen Kugelform innerhalb des Durchmessers $L_{cr,l}$ zu verstehen. Für die Auslegung ist ein örtlicher Radius von 1,3-fach dem nominellen Radius und eine nominelle Schalenwanddicke (ggf. abzüglich des Korrosionszuschlages) anzunehmen. Der Korrosionszuschlag soll unter Beibehaltung des äußeren Radius berücksichtigt werden.

Werden andere Toleranzen vorgesehen oder ergeben sich aus der Maßkontrolle gemäß Anhang B, E.3. oder E.4. andere Unrundheiten, so ist eine Nachrechnung des zulässigen Druckes gemäß Anhang B, E.5. erforderlich.

Bei mechanisch bearbeiteten Kugelschalen sind örtliche Radien kleiner $1,05 \cdot R_o$ fertigungstechnisch erreichbar. Die günstigere geometrische Beschaffenheit der Schale kann in die Rechnung mit min. $R_{o,l} = 1,05 \cdot R_o$ einfließen, vorausgesetzt, dass im Messverfahren, wie es im Anhang B beschrieben wurde, die maximal zulässige örtliche Abflachung von $u = 0,035 \cdot s_l/R_o$ mit einer Genauigkeit von mindestens $0,001 \cdot s$ nachgewiesen wird.

6.4 Definitionen

Die folgenden Definitionen sind gültig:

$R_{m,l}$ = maximaler, örtlicher mittlerer Krümmungsradius der Kugel auf halber Schalendicke

$R_{o,l}$ = maximaler, örtlicher äußerer Krümmungsradius der Kugel

s = nominelle Schalendicke

s_l = örtliche mittlere Schalendicke

Kritische Bogenlänge oder Durchmesser des Messkreises, der für die Messungen der Abweichung von der perfekten Kugelform nach Anhang B, E.3. und E.4. verwendet wird:

$$L_{cr,l} = \frac{2,2}{\sqrt[4]{\frac{3}{4} \cdot (1-\nu^2)}} \cdot \sqrt{R_{o,l} \cdot s_l} \qquad \text{(A120)}$$

Elastischer Beuldruck der Kugel:

$$p_{cr}^{el} = \frac{1,4}{\sqrt{3 \cdot (1-\nu^2)}} \cdot E \cdot \left(\frac{s_l}{R_{o,l}} \right)^2 \qquad \text{(A121)}$$

Theoretischer elastisch-plastischer Beuldruck der Kugel:

$$p_{cr}^{i} = p_{cr}^{el} \cdot \frac{\sqrt{E_t \cdot E_s}}{E} \qquad \text{(A122)}$$

$$p_{0,2} = \frac{2 \cdot \sigma_{0,2} \cdot s_l \cdot R_{m,l}}{R_{o,l}^2} \qquad \text{(A123)}$$

6.5 Kugelförmige Schalen aus ferritischem Stahl

Für kugelförmige Schalen, die aus ferritischem Stahl der Sorte GL-M550 oder ähnlichem Werkstoff gefertigt sind, kann p_{cr} folgendermaßen berechnet werden:

6.5.1 Für kugelförmige Schalen, die nicht spannungsarm geglüht wurden ist folgendes gültig:

$$p_{cr} = p_{cr}^{el} \quad \text{wenn} \quad \frac{p_{cr}^{el}}{p_{0,2}} \le 0,47 \qquad \text{(A124)}$$

$$p_{cr} = p_{0,2} \left(0,38 + 0,195 \frac{p_{cr}^{el}}{p_{0,2}} \right) \quad \text{wenn} \quad 0,47 < \frac{p_{cr}^{el}}{p_{0,2}} \le 3,18 \qquad \text{(A125)}$$

$$p_{cr} = p_{0,2} \quad \text{wenn} \quad \frac{p_{cr}^{el}}{p_{0,2}} > 3,18 \qquad \text{(A126)}$$

6.5.2 Für wärmebehandelte kugelförmige Schalen (vergütet oder spannungsarm geglüht) ist folgendes gültig:

$$p_{cr} = p_{cr}^{el} \quad \text{wenn} \quad \frac{p_{cr}^{el}}{p_{0,2}} \le 0,595 \qquad \text{(A127)}$$

$$p_{cr} = p_{0,2} \left(0,475 + 0,195 \frac{p_{cr}^{el}}{p_{0,2}} \right) \quad \text{wenn} \quad 0,595 < \frac{p_{cr}^{el}}{p_{0,2}} \le 2,7 \qquad \text{(A128)}$$

$$p_{cr} = p_{0,2} \quad \text{wenn} \quad \frac{p_{cr}^{el}}{p_{0,2}} > 2,7 \qquad \text{(A129)}$$

Die Herstellung der Endböden durch Schweißen von wärmebehandelten Segmenten und das Einschweißen der Durchführungen in die Schale ist nach der Wärmebehandlung erlaubt.

Der berechnete Versagensdruck p_{cr} soll mindestens gleich dem Zerstörungstauchdruck **CDP** des Druckkörpers sein.

6.6 Kugelförmige Schalen aus anderen Werkstoffen

Für kugelförmige Endböden aus anderen stählernen Werkstoffen ist der elastisch-plastische Beuldruck p_{cr}^{i}, welcher aus den oben beschriebenen Formeln ermittelt wurde, mit dem in Abb. A.6 definierten Abminderungsfaktor k zu multiplizieren. Der Abminderungsfaktor k ist auch in Tabelle A.2 tabellarisch zusammengefasst. Zwischenwerte können linear interpoliert werden.

Bei der Verwendung von nichteisen-metallischen Werkstoffen sind die Abminderungsfaktoren durch Modellversuche in Abstimmung mit dem GL zu ermitteln.

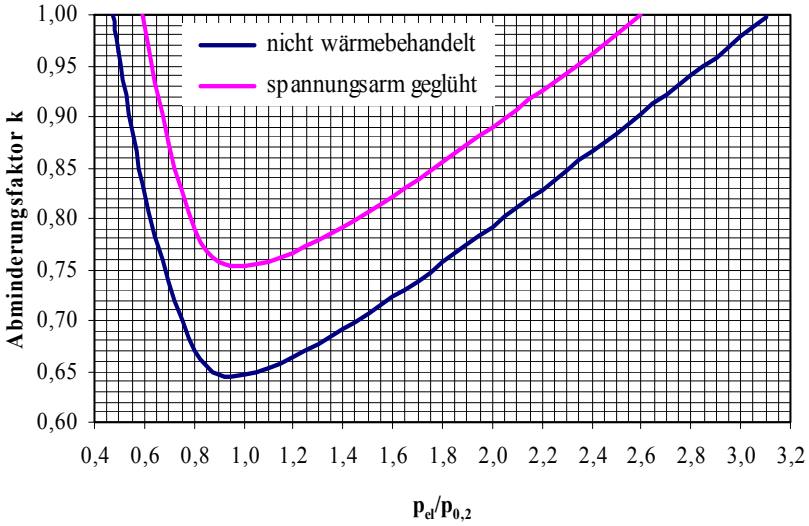


Abb. A.6 Abminderungsfaktor "k" für verschiedene Stahlbehandlung

Tabelle A.2 Abminderungsfaktor k für verschiedene Stahlbehandlung

Druckverhältnis	Abminderungsfaktor k	
$p_{el}/p_{0,2}$	nicht wärmebehandelt	spannungsarm-geglüht
0,470	1,000	1,000
0,495	0,963	1,000
0,595	0,834	1,000
0,700	0,738	0,874
0,800	0,670	0,789
0,900	0,647	0,757
1,000	0,646	0,753
1,100	0,653	0,758
1,200	0,664	0,766
1,300	0,677	0,778
1,400	0,691	0,792
1,500	0,706	0,806
1,600	0,723	0,822
1,700	0,739	0,838
1,800	0,757	0,855
1,900	0,775	0,873
2,000	0,792	0,890
2,100	0,810	0,907
2,200	0,828	0,925
2,300	0,846	0,943
2,400	0,865	0,962
2,500	0,883	0,980
2,600	0,902	0,999
2,700	0,921	1,000
2,800	0,940	1,000
2,900	0,958	1,000
3,000	0,978	1,000
3,100	0,997	1,000
3,200	1,000	1,000
3,500	1,000	1,000

7. Durchbrüche im Druckkörper und Diskontinuitäten

7.1 Diskontinuitäten

Diskontinuitäten wie

– Verbindungen von Zylindern und Kegelsegmenten

– Übergangsringe (Knickringe)

– Flansche für die Aufnahme von Kuppelfenstern

müssen für die Lastfälle Nenntauchdruck und Prüftauchdruck einer Analyse des Spannungs- und Dehnungsverhaltens ähnlich [10] [1] und [11] [1] unterzogen werden. Die Vergleichsspannung ergibt sich aus Formel (A14). Ausreichende Sicherheit ist vorhanden, wenn die zulässigen Spannungen nach den GL Vorschriften für Bemannte Unterwasserfahrzeuge (I-5-2), Abschnitt 5, D.3. nicht überschnitten werden. Werden Versteifungen durch Ausschnitte unterbrochen, so sind geeignete Verstärkungen vorzusehen.

7.2 Durchbrüche im zylindrischen oder konischen Teil des Druckkörpers - Flächenvergleichsmethode

Ausschnitte in Zylindern sind vorzugsweise entsprechend den GL Vorschriften für Maschinenanlagen (I-1-2), Abschnitt 7a, D.2.3.4 mit einem Berechnungsdruck p_c, für den wahlweise **NDP**, **TDP** bzw. **CDP** einzusetzen ist, zu ermitteln. Dabei ist:

$D_i = 2 \cdot R$

und

s_A = erforderliche Wanddicke am Ausschnittsrand gemäß GL Vorschriften für Maschinenanlagen (I-1-2), Abschnitt 7a, D.2.2, die iterativ zu ermitteln ist.

---

1 siehe Literaturangaben in G.

Die folgenden Bemessungsregeln gelten unter der Voraussetzung, dass die Werkstoffeigenschaften der Druckkörperaußenhaut und der Randverstärkung gleich sind.

Für verschiedene Werkstoffeigenschaften sind die Regeln sinngemäß zu modifizieren.

7.3 Durchbrüche im zylindrischen oder konischen Teil des Druckkörpers – Querschnittsflächenersatzregel

Nach Zustimmung durch den GL kann die erforderliche Ausschnittsverstärkung auch mit der Querschnittsflächenersatzregel ermittelt werden.

Diese Vorschrift gilt unter der Voraussetzung, dass die Werkstofffestigkeiten der Druckkörperaußenhaut und der Randverstärkung gleich sind.

Für verschiedene Werkstofffestigkeiten sind die Regeln sinngemäß zu modifizieren.

7.3.1 Kleine Durchbrüche, die keine Spanten unterbrechen

7.3.1.1 Kreisförmige Durchbrüche in radialer Richtung

Die Situation ist durch Abb. A.7 charakterisiert, wobei für die Berechnung eine Stutzenhälfte betrachtet wird.

Bezeichnungen in Abb. A.7:

s = Dicke der Außenhaut des Druckkörpers nach Reduktion um den Korrosionszuschlag

s_v = Dicke der Außenhaut des Druckkörpers im Bereich der Verstärkung

R = Innenradius des Druckkörpers

d_a = Außendurchmesser der Durchführung

ℓ_s, ℓ'_s = überstehende Längen der Durchführung

ℓ_{min} = min (ℓ_s, ℓ'_s)

= kleinerer Stutzenüberstand

ℓ_{max} = max (ℓ_s, ℓ'_s)

= größerer Stutzenüberstand

s_s = Wandstärke der Durchführung

A = zu ersetzende Querschnittsfläche

A_{eff} = wirksame Ersatz-Querschnittsfläche

l_{eff} = wirksame Länge der Durchführung

$$\ell^* = \frac{\sqrt{0,5(d_a - s_s)\cdot s_s}}{\sqrt[4]{3(1-\nu^2)}} \qquad \text{(A130)}$$

$$r_m = 0,5\cdot(d_a - s_s) \qquad \text{(A131)}$$

Es ist nachzuweisen, dass die wirksame Ersatz-Querschnittsfläche A_{eff} der Randverstärkung der Durchführung mindestens gleich der zu ersetzenden, ausgeschnittenen Querschnittsfläche A der Außenhaut ist.

Die zu ersetzende Fläche ist

$$A = 0,5 \cdot d_a \cdot s \qquad \text{(A132)}$$

Für Durchführungen, welche in der Form entsprechend Abb. A.7 konstruiert sind, kann die wirksame Ersatz-Querschnittsfläche nach der folgenden Formel berechnet werden:

$$A_{eff} = b_{min}\cdot(s_v - s) + s_s \cdot \ell_{eff} \qquad \text{(A133)}$$

$$b_{min} = 0,78\cdot\sqrt{R\cdot s_v}$$

Wirksame Länge der Durchdringung:

Fall 1:

$$\ell_{eff} = 2\cdot\ell^* + s_v \quad \text{für} \qquad \text{(A134)}$$

$$\ell_s \geq \ell^*;\ \ell'_s \geq \ell^* \qquad \text{(A135)}$$

Fall 2:

$$\ell_{eff} = 2\cdot\ell_{min} + s_v \qquad \text{(A136)}$$

$$\frac{\ell^*}{2} \leq \ell_{min} \leq \ell^* \qquad \text{(A137)}$$

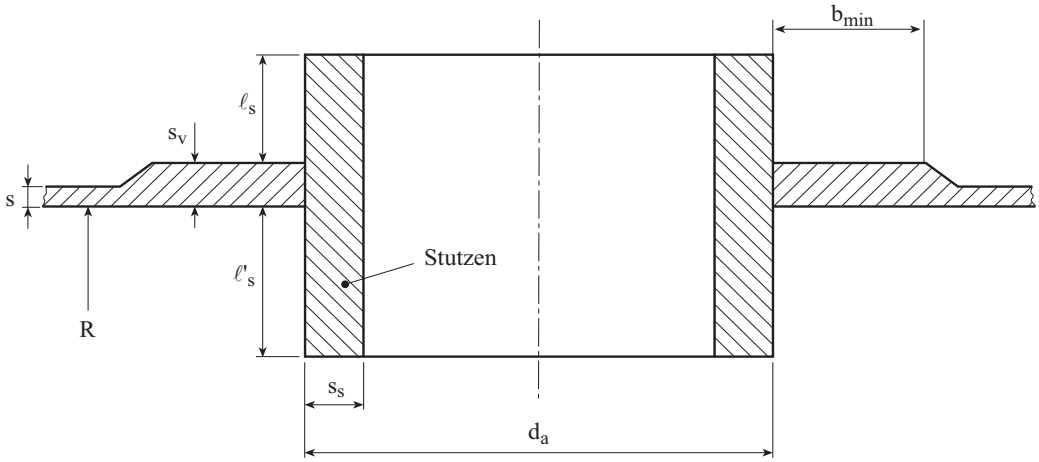


Abb. A.7 Durchführung durch die verstärkte Außenhaut

Fall 3:

$$\ell_{eff} = \ell_{min} + \min\,(a, \frac{\ell^*}{2}) + s_v \qquad \text{(A138)}$$

$$\ell_{min} < \frac{\ell^*}{2}; \quad \ell_{max} > \frac{\ell^*}{2} \qquad \text{(A139)}$$

$$a = \ell_{max}\,(0,4 + 0,6\,\frac{\ell^2_{min}}{\ell^2_{max}}) \qquad \text{(A140)}$$

7.3.1.2 Bündige Form kreisförmiger Durchführungen in radialer Richtung

Bündige Formen von Durchführungen durch den Druckkörper (ℓ_s = 0) können im Bereich der Durchführung eine Ausnehmung zur Aufnahme eines Zinkringes haben, siehe Abb. A.8.

Auch in diesem Fall kann ℓ_{eff} mit den oben angegebenen Formeln berechnet werden. Zusätzlich ist jedoch die Festigkeit im Querschnitt A – A nachzuweisen.

Für den Fall, dass die Druckkörperwand nicht verstärkt ist, ist die folgende Bedingung einzuhalten:

$$c > \sqrt{4 \cdot \frac{s \cdot d_a \left(g - \frac{s}{2}\right) - c \cdot g^2}{d_a - c} + c_\tau^2} \qquad \text{(A141)}$$

$$c_\tau = \sqrt{3} \cdot \frac{s \cdot d_a - 2 \cdot c \cdot g}{d_a - c} \qquad \text{(A142)}$$

7.3.1.3 Nicht kreisförmige Durchführungen oder Durchführungen nicht senkrecht zur Außenhaut

Wenn die Durchführung nicht kreisförmig ist oder die Außenhaut des Druckkörpers nicht in senkrechter Richtung schneidet, ist der Durchmesser d_a zu ersetzen durch:

$$d_a = \max\left(L_x, L_\varphi \cdot \frac{\sigma^m_x}{\sigma^m_\varphi}\right) \qquad \text{(A143)}$$

L_x = Breite der Durchdringungslinie in Längsrichtung

L_φ = Breite der Durchdringungslinie in Umfangsrichtung

σ^m_x = Membranspannung im Druckkörper in Längsrichtung

σ^m_φ = Membranspannung im Druckkörper in Umfangsrichtung

In speziellen Fällen, wenn die Vorschriften nur in beschränkter Weise angewendet werden können, ist die Festigkeit durch numerische Methoden nachzuweisen.

7.3.2 Große Durchbrüche, die Spanten unterbrechen

Für die Vordimensionierung kann das folgende Verfahren verwendet werden:

Die wirksame Randverstärkung des Durchbruchs hat, in ähnlicher Weise wie für kleine Durchführungen, die ausgeschnittene Querschnittsfläche zu ersetzen. Die Querschnitte der Stege der unterbrochenen Spanten sind dabei zusätzlich zu berücksichtigen. Die wirksame Ersatz-Querschnittsfläche ist in analoger Weise wie für kleine Durchbrüche zu ermitteln. Kompakte Verstärkungsringe sind volltragend, wenn sie direkt in der Durchdringungslinie angeordnet sind.

Die Konstruktion in der Gurtebene des Spants ist so zu gestalten, dass die maximal zulässigen Kräfte im Gurt ($A_f \cdot \sigma_{zul}$) auch weiter übertragen werden können. Für σ_{zul} ist der zum jeweiligen Lastfall zugehörige Wert der zulässigen Spannung nach GL Vorschriften für Bemannte Unterwasserfahrzeuge (I-5-2), Abschnitt 5, D.3. einzusetzen.

Große Durchbrüche sind durch numerische Berechnungsmethoden nachzuweisen.

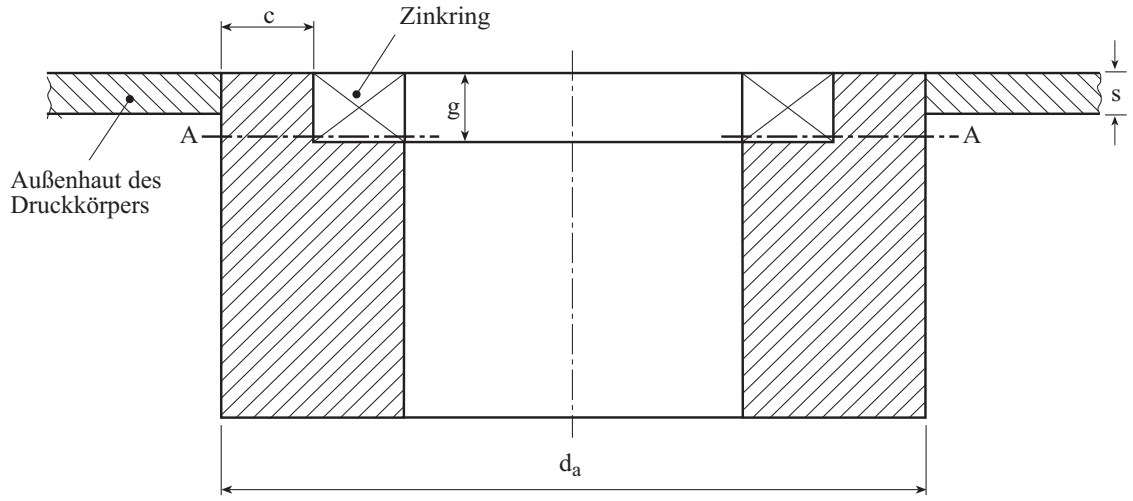


Abb. A.8 Durchführung in bündiger Form

7.4 Durchbrüche in kugelförmigen Schalen

Ausschnitte in Kugelschalen sind entsprechend den GL Vorschriften für Maschinenanlagen (I-1-2), Abschnitt 7a, D.4.3.3 mit einem Berechnungsdruck p_c, für den wahlweise 1,2 · **NDP**, 1,2 · **TDP** bzw. 1,2 · **CDP** einzusetzen ist. Dabei ist:

D_i = $2 \cdot R$

und

s_A = erforderliche Wanddicke am Ausschnittsrand gemäß GL Vorschriften für Maschinenanlagen (I-1-2), Abschnitt 7a, D.2.2, die iterativ zu ermitteln ist.

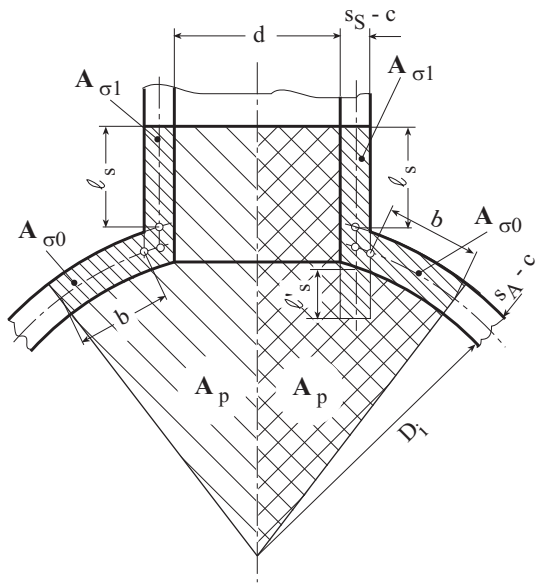


Abb. A.9 Durchbrüche in Kugelschalen

Nach Zustimmung durch den GL kann auch die Querschnittsflächenersatzmethode, wie in 7.3 beschrieben, sinngemäß angewandt werden. Dabei ist R der Innenradius der Kugel.

In Fällen, in denen die Flächenvergleichs- bzw. die Querschnittsflächenersatzregel nicht erfüllt ist, ist ein numerischer Festigkeitsnachweis zu führen. Dabei ist der örtliche Radius der kugelförmigen Schale gemäß 6.3 im Bereich des Durchbruchs entsprechend zu wählen. Der erreichte Versagensdruck ist dann wie der elastisch-plastische Beuldruck, der für den ungestörten Endboden ermittelt wurde, abzumindern, siehe Abb. A.6.

G. Literatur

[1] Germanischer Lloyd, Klassifikations- und Bauvorschriften, Teil 1 – Seeschiffe, Kapitel 2 – Maschinenanlagen

[2] AD 2000 Regelwerk, Merkblätter Reihe B, Berechnung von Druckbehältern, Herausgeber: Arbeitsgemeinschaft Druckbehälter

[3] The Stress Analysis of Pressure Vessels and Pressure Vessel Compartments, Herausgeber: S.S. Gill, Pergamon Press, 1970

[4] John C. Pulos und Vito L. Salerno: Axisymmetric Elastic Deformations and Stresses in a Ring-Stiffened, Perfectly Circular Cylindrical Shell under External Hydrostatic Pressure, DTMB-Report No. 1497

[5] Development in Pressure Vessel Technology, Herausgeber: R. W. Nichols, Applied Science Publishers, 1983

[6] European Recommendations for Steel Construction: Buckling of Shells, Herausgeber: ECCS-CECM-EKS, Brüssel, 1984

[7] DIN 4114, Blatt 2: Stabilitätsfälle (Knickung, Kippung, Beulung), Ausgabe 2.53

[8] Myron E. Lunchick: Plastic Axisymmetric Buckling of Ring-Stiffened Cylindrical Shells Fabricated from Strainhardening Materials and Subjected to External Hydrostatic Pressure, DTMB-Report No. 1393

[9] Krenske, Martin A. und Kierman, Thomas J.: The Effect of Initial Imperfections on the Collapse Strength of Sherical Shells, DTMB-Report No. 1757

[10] ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII, Division 2

[11] Raymond J. Roark and Warren C. Young: Formulars for Stress and Strain, Mc Graw - Hill Book Company

[12] William F. Blumenberg: The Effect of Intermediate Heavy Frames on the Elastic General-Instability Strength of Ring-Stiffened Cylinders Under External Hydrostatic Pressure, DTMB-Report No. 1844

[13] Thomas E. Reynolds: Inelastic Lobar Buckling of Cylindrical Shells Under External Hydrostatic Pressure, DTMB-Report No. 1392.

Anhang B

Fertigungstoleranzen für den Druckkörper

A. Allgemein

1. Dieser Anhang beschreibt die zulässigen Toleranzen für die Fertigung des Druckkörpers als Voraussetzung für die Anwendbarkeit der in Anhang A definierten Festigkeitsberechnungen.

2. Alle Prüfungen sind vom Hersteller in Anwesenheit eines GL-Besichtigers durchzuführen und ein Messbericht ist vom Hersteller an den GL zu senden.

3. Die erforderlichen, im Folgenden angeführten Überprüfungen sind nur auszuführen, wenn keine nachfolgenden Änderungen von Messwerten zu erwarten sind. Schweißnahtbereiche, welche in der Zwischenzeit wegen unzulässiger Defekte überarbeitet wurden sind erneut zu vermessen.

Das zu untersuchende Bauteil ist auf Umgebungstemperatur abzukühlen und von allen Verspannungen durch Montagehilfe insoweit zu entlasten, dass die Messergebnisse nicht verfälscht werden können.

B. Abmessungen des Druckkörpers

1. Allgemein

1.1 Sofern nicht an anderer Stelle dieser Vorschrift angegeben, gelten die nachfolgenden Toleranzen.

1.2 Alle Längs- und Umfangsnähte der Beplattung des Druckkörpers sind auf Kantenversatz, Nahteinfall, Einbrandkerben und Unterschleifungen zu überprüfen. Dies soll auch für die Schweißverbindung der Beplattung mit dem Knick-/Übergangsring gelten. Die innere und äußere Oberfläche ist auf Beschädigungen zu untersuchen.

2. Abmessungen der zylindrischen bzw. konischen Teile

2.1 Durchmesser

Der tatsächliche mittlere Außendurchmesser zylindrischer bzw. konischer Druckkörper darf, aus dem Umfang errechnet, um nicht mehr als ± 0,5 % von dem der Berechnung zugrunde liegenden Außendurchmesser abweichen. Die Messungen sind in Abständen von höchstens $\sqrt{3 \cdot R \cdot s}$ über die ganze Länge des Bauteils auszuführen.

s = nominelle Schalendicke [mm]

R = Innenradius der Schale [mm]

2.2 Mantellinie

Die Abweichung der theoretischen Mantellinie von der Geraden darf ± 0,2 % der Länge des geradlinigen Abschnittes eines Zylinders bzw. Konus über drei benachbarte Messpunkte, die durch Rahmenspanten, Schotte und Anschlüsse von Konussen und Endböden gegeben sind, gemessen, nicht überschreiten. Sind Rahmenspanten, Konusse und Schotte nicht vorgesehen, wird nur zwischen den Endböden gemessen. Die Abweichung ist an mindesten 8 gleichmäßig am Umfang verteilten Stellen zu messen.

2.3 Länge

Die Länge der Fertigungsschüsse ist an mindestens 4 gleichmäßig am Umfang verteilten Stellen zu messen und zu mitteln.

Die zulässige Toleranz der Schusslänge darf nicht größer sein als die Summe der vorhandenen Abweichungen der Spantabstände in diesem Schuss. Wenn keine Spanten vorgesehen sind, beträgt die Toleranz ± 1 % der nominellen Länge, jedoch nicht mehr als 15 mm.

3. Abmessungen kugelförmiger Schalen und gewölbter Endböden

3.1 Radius für Kugelschalen und Kalotte des gewölbten Endbodens

Zur Bestimmung der sphärischen Form der Kugelschale sind die Außenradien gemäß E.3. zu ermitteln.

Die sphärische Form der Kugelschale soll innerhalb einer Toleranz von ± 1 % des nominellen Außenradius bleiben.

3.2 Verlauf der theoretischen Geometrielinien von gewölbten Böden (Krempen-/Kalottenradius)

Die Toleranzen sind vom Hersteller entsprechend anerkannten Regelwerken festzulegen und Abweichungen hiervon sind vom GL zu genehmigen, vergleiche E.2.

4. Bauteildicke

Toleranzen für Bauteile des Druckkörpers: – 0/+ t

Toleranzmaß t gemäß Werkstoff-Lieferbedingungen (falls die Werkstoff-Liefernorm Minus-Toleranzen zulässt, sind diese in den Berechnungen zu berücksichtigen).

5. Kantenversatz und Nahteinfall

5.1 Die radialen Abweichungen x_1 und x_2 bilden die Basis zur Bestimmung von Nahteinfall und Kan-

tenversatz der Oberfläche der Beplattung in Bezug auf ihre nominelle Lage neben einer Schweißnaht, vgl. Abb. B.1. Sie werden im Abstand $y = s_{max} + 20$ mm beidseitig mittig über der Schweißnaht gemessen.

5.2 Die Toleranzen für den Verlauf der theoretischen Linie der Mittelebene am Knick-/Übergangsring sind in den Herstellungsprotokollen zu dokumentieren und zu prüfen.

5.3 Kantenversatz für zylindrische und konische Teile

Der Kantenversatz der beiden Platten ist durch die Differenz der beiden Messwerte $|x_2 - x_1|$ bestimmt, vgl. Abb. B.1.

Für Umfangsnähte darf der Kantenversatz 15 % der nominellen Dicke der dünneren Platte, jedoch maximal 4 mm nicht überschreiten.

Für Längsnähte darf der Kantenversatz 10 % der nominellen Dicke der dünneren Platte, jedoch maximal 3 mm nicht überschreiten.

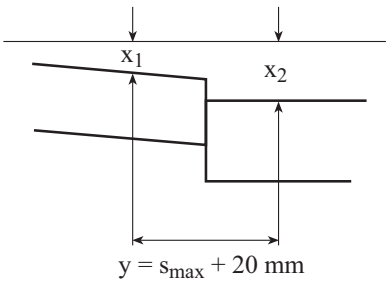


Abb. B.1 Radiale Abweichungen der Beplattung des Druckkörpers

5.4 Kantenversatz für kugelförmige Schalen und gewölbte Endböden

Für Stumpfstöße innerhalb dieser Schalen und Endböden darf der Kantenversatz 10 % der dünneren Platte, jedoch maximal 3 mm nicht überschreiten.

5.5 Nahteinfall für zylindrische und konische Teile

Der Mittelwert der Abweichungen

$$h = (x_1 + x_2) / 2$$

ist als Nahteinfall definiert. Sofern nicht anders mit dem GL vereinbart, gelten die folgenden Toleranzen:

Für Umfangsnähte darf der Nahteinfall $h = 1/4 \cdot s$, jedoch maximal 5 mm nicht überschreiten.

Für Längsnähte darf der Nahteinfall $h = 1/6 \cdot s$, jedoch 3 mm nicht überschreiten.

5.6 Nahteinfall für kugelige Schalen und gewölbte Endböden

Für Stumpfstöße innerhalb dieser Schalen und Endböden darf der Nahteinfall $h = 1/6 \cdot s$, jedoch maximal 3 mm nicht überschreiten.

6. Beschädigungen der Bauteiloberfläche

Beschädigungen der Oberfläche, wie Riefen, Kratzer, Schweißzündstellen, Rillen usw. sind sorgfältig auszugleichen und auf Oberflächenrisse zu überprüfen. Die auf diese Weise behandelten Fehlstellen sind ohne rechnerischen Festigkeitsnachweis zulässig, wenn folgende Bedingungen eingehalten werden:

- Die Tiefe darf höchstens $0{,}05 \cdot s$ oder 3 mm betragen, wobei der kleinere Wert maßgeblich ist.
- Der Bereich der Dickenunterschreitung muss innerhalb einer Kreisfläche mit dem Durchmesser $2 \cdot s$ oder 60 mm liegen, wobei der kleinere der beiden Werte maßgeblich ist.
- Der Abstand zwischen zwei Bereichen mit Dickenunterschreitungen und der Abstand von Störstellen, wie z. B. Durchdringungen, muss mindestens $\sqrt{2 \cdot R \cdot s}$ betragen.

Tiefere Fehlstellen sind nach Abstimmung mit dem GL gesondert zu behandeln.

7. Bewertung der Schweißnähte

Die Bewertung anderer als die unter 5. genannten Unregelmäßigkeiten an Schweißnähten erfolgt nach der GL Vorschrift für Gestaltung, Herstellung und Prüfung der Schweißverbindungen (II-3-2), Anhang A, Bewertungsgruppe B.

C. Spanten des Druckkörpers

1. Messungen

Die folgenden Messungen sind an jedem Spant des Druckkörpers an acht gleichmäßig über dem Umfang verteilten Punkten durchzuführen:

- Flanschbreite
- Flanschdicke
- Stegdicke
- Spantabstand (gemessen am Spantfuß)
- Spanthöhe bis zur Mallkante
- Exzentrizität Flansch zu Steg
- Stegneigung zur Spantebene

Der Abstand k des Spantfußes von der Bezugsebene des Spants soll durch direkte Messung bestimmt werden, siehe Abb. B.2. Die Messstelle am Spantfuß ist als Detail "A" in dieser Abbildung dargestellt. Für zylindrische Teile des Druckkörpers soll diese Messung mindestens an einem Spant pro Schuss (mit einer Schusslänge bis zu einem Maximum von 8 Spanten des Druckkörpers) und für konische Teile des Druckkörpers an jedem Spant an 16 gleichförmig über den Umfang verteilten Messpunkten erfolgen.

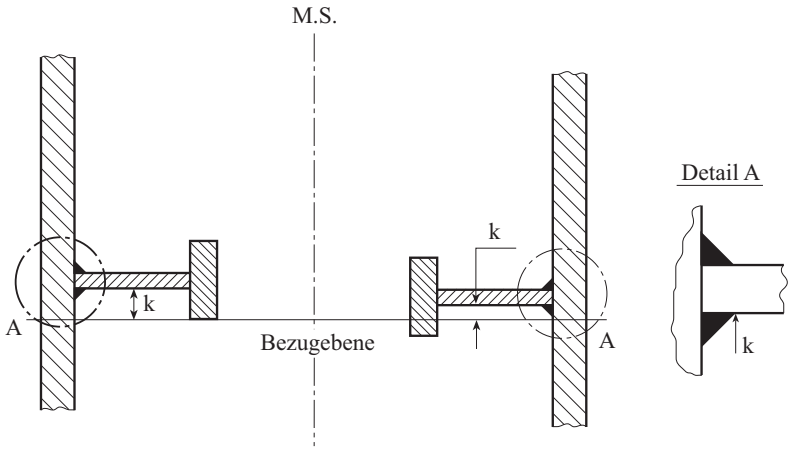


Abb. B.2 Definition der Bezugsebene eines Spants

2. Toleranzen

2.1 Die folgenden Toleranzen sind Maximalwerte und sind nicht zu überschreiten. Die aus Prozentsätzen errechneten Toleranzen können um bis zu einem halben Millimeter aufgerundet werden.

2.2 Gurtbreite: 0 % bis + 4,5 %
Gurtdicke: 0 mm bis + 3 mm
Stegdicke: 0 mm bis + 3 mm

Im Bezug auf Gurtbreite bzw. Gurtdicke ist der Gurtquerschnitt ein Kriterium der zulässigen Toleranz. Höhentoleranzen von $0{,}2 + 0{,}04 \cdot s \leq 1$ mm (s = Materialdicke in mm) infolge von flachem Verschleifen von Fehlstellen können örtlich überschritten werden, aber der Querschnitt von Gurt oder Steg darf nicht auf weniger als 90 % reduziert werden.

2.3 Spantabstand: allgemein ± 1 %
Bei Umfangsnähten +1 % bis –3 %

2.4 Spanthöhe an Mallkante des Spants:
0 % bis + 5 %

Toleranzen bis zu -2 % sind örtlich erlaubt, wenn der Mittelwert von 8 Messpunkten den nominellen Wert erreicht.

2.5 Exzentrizität des Gurtes zum Steg: 2 % der Spanthöhe

2.6 Neigung des Stegs zur Ebene des Spants: ± 2 °

2.7 Position des Spantfußes zur Bezugsebene.
+ 4 mm für Spanten
± 6 mm für Rahmenspanten

Wenn die maximale Differenz von erfassten Abständen (k_{max} - k_{min}) für Spanten größer als 8 mm und für Rahmenspanten größer als 12 mm ist, sind die realen Abweichungen von h nach den folgenden Formeln zu ermitteln:

$$h_i = k_i - k_0 - \Delta k_x \cdot \sin \varphi_i - \Delta k_y \cdot \cos \varphi_i \quad \text{(B1)}$$

$$k_0 = 1/J \, (k_1 + k_2 + k_3 + \ldots\ldots k_J) \quad \text{(B2)}$$

$$\Delta k_x = 2/J \, (k_1 \cdot \sin \varphi_1 + k_2 \cdot \sin \varphi_2 + k_3 \cdot \sin \varphi_3 + \ldots\ldots + k_J \cdot \sin \varphi_J) \quad \text{(B3)}$$

$$\Delta k_y = 2/J \, (k_1 \cdot \cos \varphi_1 + k_2 \cdot \cos \varphi_2 + k_3 \cdot \cos \varphi_3 + \ldots\ldots + k_J \cdot \cos \varphi_J) \quad \text{(B4)}$$

$\varphi_i = 360° \cdot i / J$

h_i = Abweichung des Spantfußes von der aktuellen Ebene des Spants beim Messpunkt i

k_i = gemessener Abstand des Spantfußes von der Bezugsebene beim Messpunkt i

J = Anzahl der Messpunkte

3. Übergangsringe und Verstärkungen des Druckkörpers

Übergangsringe, Ausschnittverstärkungen und andere Verstärkungen des Druckkörpers dürfen nicht mit Bauteil schwächenden Toleranzen eingesetzt werden.

D. Unrundheit des zylindrischen bzw. konischen Druckkörpers

1. Die Unrundheit des Druckkörpers ist sowohl an jedem Spant als auch an jedem Übergangsring zu messen. Die Messungen sind in Abständen von höchstens $\sqrt{3 \cdot R \cdot s}$ über die ganze Länge des Bauteils auszuführen. Bei Spantabständen größer $\sqrt{3 \cdot R \cdot s}$ ist die Unrundheit auch an der Schale zwischen den Spanten unter Beachtung dieses Messabstandes zu bestimmen.

Dabei ist der Verlauf der theoretischen Geometrielinien am Übergangsring zu bestimmen.

2. Die folgenden Anforderungen sind vor der Durchführung von Messungen der Unrundheit zu erfüllen:

– Die erforderlichen Prüfungen sollen nur ausgeführt werden, wenn keine nachfolgenden Änderungen der gemessenen Werte zu erwarten sind.

– Der Querschnitt ist auf Umgebungstemperatur abzukühlen und von allen Spannungen durch geeignete Hilfen freizuhalten um eine Verfälschung der Messresultate zu verhindern.

3. Die Vermessung des Druckkörpers kann von innen oder von außen erfolgen. Grundsätzlich soll die Messung der Unrundheit an 24, so gleichmäßig wie möglich am Umfang angeordneten Punkten durchgeführt werden. Sie kann ausgeführt werden mittels einer Kreisschablone, Tastzirkel, Zwei-Punkt-Brückenlehre (siehe Abb. B.4), Photogrammetrie oder Theodolit, wobei Zugang durch entsprechende Maßnahmen ermöglicht werden muss. Wenn die Messung einzelner Werte aus Konstruktionsgründen nicht möglich ist (z.B. im Bereich größerer Öffnungen) sollen sie soweit praktisch möglich ersetzt werden (im Allgemeinen durch lineare Interpolation). Die Messung darf nicht durch Schweißnähte (z.B. Nahtüberhöhung) oder örtliche Störstellen der Oberfläche beeinträchtigt werden.

4. Die Resultate der Messungen sollen dem GL in Tabellenform und graphisch dargestellt werden.

5. Die maximal zulässige Unrundheit beträgt ± 0,5 % des nominelle Radius des Druckkörpers soweit nicht mit dem GL anders vereinbart ist.

6. Messmethode 1: direkte Messung der Radien oder deren Abweichung vom konstanten Radius; von innen oder von außen

Die Messung kann entweder von innen - Messung der Radien, oder von außen - Messung der Abweichung vom konstanten, mittleren Radius durch Drehen des Druckkörpers um eine angenommene Achse (Mittelpunkt), erfolgen. Der angenommene Mittelpunkt soll möglichst nahe am tatsächlichen Mittelpunkt liegen, vergleiche Abb. B.3.

Die folgenden Formeln sind auf J = 24 gleichmäßig am Umfang verteilte Messpunkte anzuwenden:

$$u_i = R_i - \overline{R} - \Delta x \cdot \sin \varphi_i - \Delta y \cdot \cos \varphi_i \quad \text{(B5)}$$

$$\overline{R} = 1/J \, (R_1 + R_2 + R_3 + \ldots. + R_J) \quad \text{(B6)}$$

$$\Delta x = 2/J \, (R_1 \cdot \sin \varphi_1 + R_2 \cdot \sin \varphi_2 + R_3 \cdot \sin \varphi_3 + \ldots. + R_J \cdot \sin \varphi_J \,) \quad \text{(B7)}$$

$$\Delta y = 2/J \, (R_1 \cdot \cos \varphi_1 + R_2 \cdot \cos \varphi_2 + R_3 \cdot \cos \varphi_3 + \ldots. + R_J \cdot \cos \varphi_J \,) \quad \text{(B8)}$$

i = Messpunkte 1 bis J (für obige Formel J = 24)

R_i = radialer Messwert an der Kurvenkontur am Messpunkt i; vom angenommenen Mittelpunkt gemessen

$\overline{R}$ = mittlerer berechneter Radius

Δx = Messabweichung, horizontal

Δy = Messabweichung, vertikal

u_i = berechneter Wert der Unrundheit des Druckkörpers am Messpunkt i

φ_i = Winkellage der Messpunkte, siehe C.2.7

Der Berechnungsablauf soll entsprechend Tabelle B.1 dokumentiert werden.

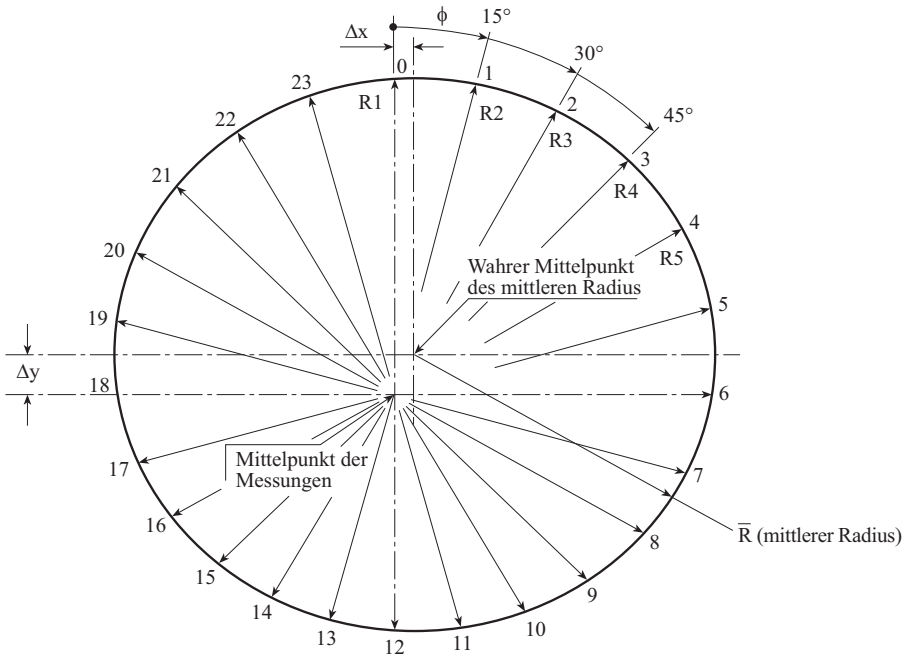


Abb. B.3 Messung der Unrundheit am Zylinder, Messmethode 1, Erklärung der Symbole

Tabelle B.1 Protokoll- und Berechnungstabelle zur Ermittlung der Unrundheit nach Methode 1

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
i	R_i [mm]	φ_i [°]	$\sin\varphi_i$	$\cos\varphi_i$	$R_i \cdot \sin\varphi_i$	$R_i \cdot \cos\varphi_i$	$\Delta_x \cdot \sin\varphi_i$	$\Delta_y \cdot \cos\varphi_i$	(7)+(8)	(9)+ $\overline{R}$	u_i=(1) – (10)
1		15	0,2588	0,9659							
2		30	0,5000	0,8660							
3		45	0,7071	0,7071							
4		60	0,8660	0,5000							
5		75	0,9659	0,2588							
6		90	1,0000	0,0000							
7		105	0,9659	–0,2588							
8		120	0,8660	–0,5000							
9		135	0,7071	–0,7071							
10		150	0,5000	–0,8660							
11		165	0,2588	–0,9659							
12		180	0,0000	–1,0000							
13		195	–0,2588	–0,9659							
14		210	–0,5000	–0,8660							
15		225	–0,7071	–0,7071							
16		240	–0,8660	–0,5000							
17		255	–0,9659	–0,2588							
18		270	–1,0000	0,0000							
19		285	–0,9659	0,2588							
20		300	–0,8660	0,5000							
21		315	–0,7071	0,7071							
22		330	–0,5000	0,8660							
23		345	–0,2588	0,9659							
24		360	0,0000	1,0000							

7. Messmethode 1: nicht gleichmäßig verteilte Messpunkte

Im Falle von nicht gleichmäßig verteilten Messpunkten und einem Winkelabstand der Messpunkte ≤ 18 ° sind die folgenden Formeln anzuwenden:

$$u_i = R_i - \overline{R}' - \Delta x' \cdot \sin\varphi_i - \Delta y' \cdot \cos\varphi_i \quad \text{(B9)}$$

$$\overline{R}' = [1/(2 \cdot \pi \cdot D)]\,[R_1 \cdot x_2 + R_2\,(x_3 - x_1) + R_3\,(x_4 - x_2) + \ldots + R_J\,(x_1 - x_{J-1} + \pi \cdot D)] \quad \text{(B10)}$$

$$\Delta x' = [1/(\pi \cdot D)]\,[R_1 \cdot \sin\varphi_1 \cdot x_2 + R_2 \cdot \sin\varphi_2\,(x_3 - x_1) + R_3 \cdot \sin\varphi_3\,(x_4 - x_2) + \ldots + R_J \cdot \sin\varphi_J\,(x_1 - x_{J-1} + \pi \cdot D)] \quad \text{(B11)}$$

$$\Delta y' = [1/(\pi \cdot D)]\,[R_1 \cdot \cos\varphi_1 \cdot x_2 + R_2 \cdot \cos\varphi_2\,(x_3 - x_1) + R_3 \cdot \cos\varphi_3\,(x_4 - x_2) + \ldots + R_J \cdot \cos\varphi_J\,(x_1 - x_{J-1} + \pi \cdot D)] \quad \text{(B12)}$$

i = Messpunkte 1 bis J (für obige Formel J = 24)

J = aktuelle Anzahl der Messpunkte

R_i = siehe Definition in 6.

$\overline{R}'$ = mittlerer berechneter Radius

$\Delta x'$ = Messabweichung, horizontal

$\Delta y'$ = Messabweichung, vertikal

u_i = siehe Definition in 6.

D = Durchmesser des Messkreises

x_i = Umfangskoordinate am Messpunkt i (Messabstand vom Startpunkt, $x_J = x_0 = 0$)

φ_i = Winkel am Messpunkt i

= $360 \cdot x_i / (\pi \cdot D)$

8. Messmethode 2: indirekte Messung der Abweichung von der mittleren Bogenhöhe der Messbrücke; von außen

Die Anzahl der Messebenen für Messungen der Unrundheit am zylindrischen Druckkörper ist mit dem GL abzustimmen. Je Messebene sind mindestens J = 24 gleichmäßig am Umfang verteilte Messpunkte vorzusehen. Die Bogenhöhe x (j) wird mit Hilfe einer

Messbrücke über der Sehnenlänge $L_s = 4 \cdot \pi \cdot R_o / J$ (siehe Abb. B.4)) gemessen. Aus den Werten x (j) und den Einflussfaktoren C ergeben sich die Werte für die Unrundheit gemäß Formel (B13). Für J = 24 sind die Einflussfaktoren C in Tabelle B.2 wiedergegeben. Die so gemessenen Einzelwerte der Unrundheit U (j) dürfen den in 5. festgelegten maximal zulässigen Wert nicht überschreiten.

R_o bedeutet hier den Außenradius der Zylinderschale.

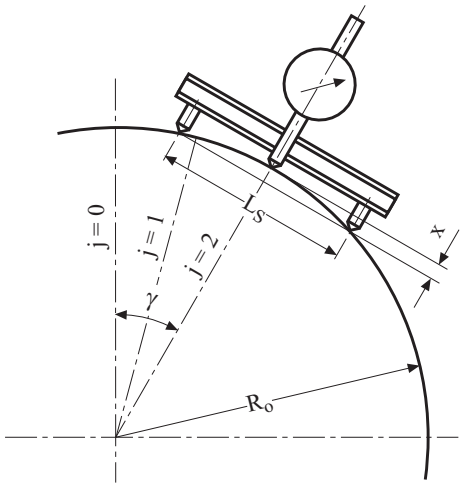


Abb. B.4 Messung der Unrundheit am Zylinder, Messmethode 2

$$U_j = \sum_{i=0}^{J-1} x_i \cdot C_{|i-j|} \qquad \text{(B13)}$$

Beispiel für die Unrundheit U an der Stelle j = 2 für J = 24:

$$U_2 = x_0 \cdot C_2 + x_1 \cdot C_1 + x_2 \cdot C_0 + x_3 \cdot C_1 + ... + x_{21} \cdot C_{19} + x_{22} \cdot C_{20} + x_{23} \cdot C_{21} \qquad \text{(B14)}$$

Tabelle B.2 Einflussfaktoren C_i für j = 24

i = j	$C_{\|i-j\|}$	i = j	$C_{\|i-j\|}$
0	1,76100	12	0,60124
1	0,85587	13	0,54051
2	0,12834	14	0,36793
3	–0,38800	15	0,11136
4	–0,68359	16	–0,18614
5	–0,77160	17	–0,47097
6	–0,68487	18	–0,68487
7	–0,47097	19	–0,77160
8	–0,18614	20	–0,68359
9	0,11136	21	–0,38800
10	0,36793	22	0,12834
11	0,54051	23	0,85587

E. Kugelförmige Schalen und gewölbte Endböden

1. Die folgenden Messungen sind für Kugelschalen und gewölbte Endböden durchzuführen:

– Verlauf der theoretischen Geometrielinien am Übergangsring (Knickring)

– Unrundheit, Umfang und Schrägstellung des zylindrischen Ansatzes gewölbter Böden

– Unrundheit der Kugelschale (örtliche Abflachung)

– Kugelform der Schale

2. Für gewölbte Endböden in Klöpper- bzw. Korbbogenform sind die Toleranzen entsprechend anerkannten Normen, z.B. DIN 28011 bzw. DIN 28013 einzuhalten. Jedoch für die Formabweichungen:

– örtliche Abflachung

– Unrundheit des zylindrischen Ansatzes

gelten die in diesem Anhang definierten Toleranzen, vergleiche 4. bzw. D.5.

3. Eine zulässige Kugelform ist eine Schale, die einen definierten Radius mit festgelegter Toleranz einhält. Zur Bestimmung der sphärischen Form der Kugelschale sind die Außenradien entsprechend der Messmethode 1 gemäß D.6. in mindestens 6 gleichmäßig verteilten (d.h. um je 30° versetzten) und eine gemeinsame Achse schneidenden Ebenen zu ermitteln (Abbildung B.5). Bei Kugelsegmenten ist sinngemäß zu verfahren.

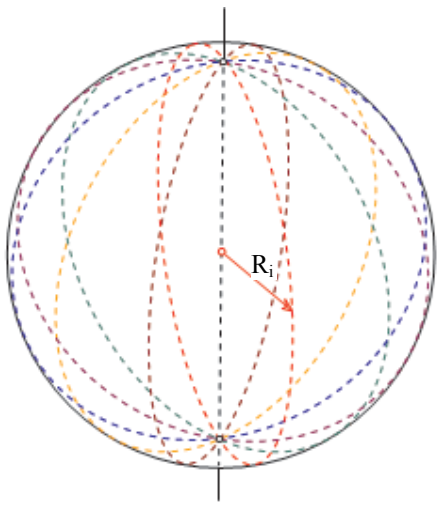


Abb. B.5 Messebenen einer Kugelschale - Messmethode 1

Die so gemessenen Unrundheiten dürfen ± 1 % des nominellen Außenradius nicht überschreiten. Sind als lokale Abflachung kleinere örtliche Radien als das 1,3-fache des nominellen Außenradius vereinbart worden, so ist eine geringere zulässige Unrundheit der Kugelschale zweckmäßig. Der zulässige Wert der Unrundheit ist mit dem GL abzustimmen.

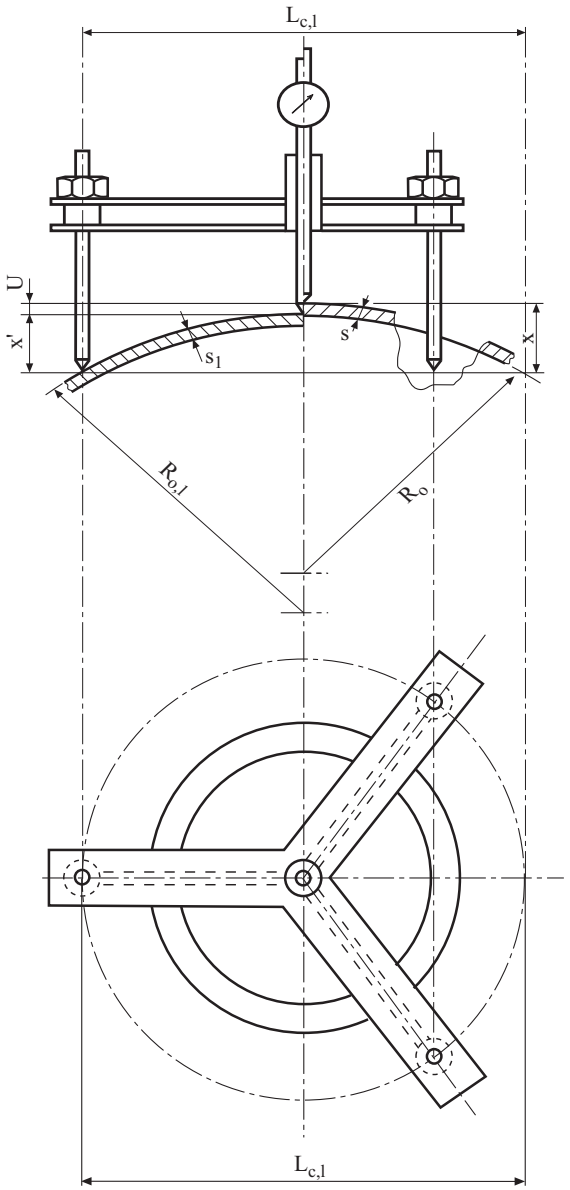


Abb. B.6 Messung der Unrundheit an der Kugel

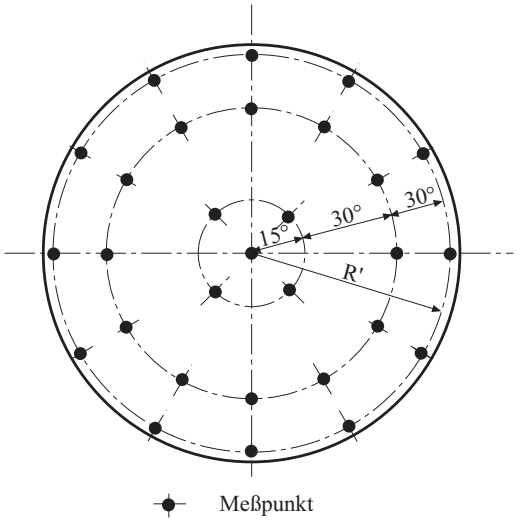


Abb. B.7 Verteilung der Messpunkte auf einem Halbkugelboden

4. Messung der örtlichen Abflachung an kugelförmigen Schalen

Die Messung darf nicht durch Schweißnähte (z.B. Nahtüberhöhung) oder örtliche Störstellen der Oberfläche beeinträchtigt werden.

Die Bogenhöhe x' wird mit einer 3-Punkt Brückenlehre (siehe Abb. B.6) gemessen, wobei der Messdurchmesser $L_{c,l}$ mit Formel (B15) zu berechnen ist. Die Unrundheit der Kugelschale ergibt sich aus der örtlichen Abflachung U gemäß Formel (B17). Der maximal zulässige Wert der örtlichen Abflachung, unter Zugrundelegung eines örtlichen Radius $R_{o,l} = 1{,}3 \cdot R_o$, beträgt $u = 0{,}218 \cdot s_l/R_o$. Somit ist die maximal zulässige örtliche Abflachung U der Kugelschale von der theoretischen Kugelform 21,8 % der Plattendicke s_l (mittlerer Wert der gemessenen Dicken im Messbereich). Wird ein abweichender örtlicher Radius für die Auslegung des Druckkörpers vereinbart, so ist ein korrigierter Versagensdruck p_{cr}' sowie eine korrigierte zulässige örtliche Abflachung gemäß 5. zu ermitteln.

$$L_{c,l} = \frac{2{,}2}{\sqrt[4]{\frac{3}{4} \cdot (1 - \nu^2)}} \cdot \sqrt{R_{o,l} \cdot s_l} \qquad \text{(B15)}$$

$$x = R_o - \sqrt{R_o^2 - \frac{L_{c,l}^2}{4}} \qquad \text{(B16)}$$

$$U = x - x' = u \cdot R_o \qquad \text{(B17)}$$

$L_{c,l}$ = kritische Bogenlänge (Durchmesser des Messkreises)

s_l = örtliche mittlere Schalendicke

x = Bogenhöhe beim nominellen Schalenradius R_o

x' = gemessene Bogenhöhe

ν = Poissonzahl im elastischen Bereich
= 0,3 für Stahl

U = örtliche Abflachung der Kugelschale innerhalb des Durchmessers $L_{c,l}$

u = örtliche Abflachung, bezogen auf den nominellen Radius R_o

Die Verteilung der Messpunkte ist aus Abb. B.7 zu entnehmen. In jedem Messpunkt ist zweimal zu messen: einmal in der Ebene durch die Mittelachse und einmal senkrecht dazu.

5. Berechnung des Versagensdruckes an kugelförmigen Schalen mit einer abweichenden Unrundheit ($u \neq 0{,}218 \cdot s/R_o$)

Die korrigierte maximal zulässige Unrundheit kann mit Hilfe der Tabelle B.3 ermittelt werden.

Der korrigierte elastisch-plastische Beuldruck $p_{cr}^{i}{}'$ wird unter Verwendung des Korrekturfaktors c_p mit

Formel (B18) unter Berücksichtigung des tatsächlich vorhandenen örtlichen Krümmungsradius $R_{o,l}$ ermittelt (Verhältnis $\frac{R_{o,l}}{R_o}$). Der örtliche Krümmungsradius $R_{o,l}$ wird mit Formel (B19) berechnet. Der so ermittelte elastisch-plastische Beuldruck $p_{cr}^{i}{}'$ ist mit dem Abminderungsfaktor k nach Anhang A, F.6.6 zu multiplizieren. Örtliche Radien größer als der zweifache nominelle Radius sind zu vermeiden. Für Radien kleiner als der 1,3-fache nominelle Radius sind die Festlegungen in Anhang A, F.6.3 zu beachten.

$$p_{cr}^{i}{}' = \frac{p_{cr}^{i}}{c_p} \qquad \text{(B18)}$$

$$R_{o,l} = \frac{x'}{2} + \frac{L_{c,l}^2}{8 \cdot x'} \qquad \text{(B19)}$$

Der so ermittelte korrigierte Versagensdruck p_{cr}' soll zumindest gleich dem Zerstörungstauchdruck **CDP** des Druckkörpers sein:

$$p_{cr}' = \frac{p_{cr}^{i}{}'}{c_p} \cdot k \geq \mathbf{CDP} \qquad \text{(B20)}$$

F. Literatur

Bezüglich der Literatur wird auf Anhang A, G. verwiesen.

Tabelle B.3 Maximal zulässige örtliche Abflachung beim abweichenden örtlichen Radius

Verhältnis $\frac{R_{o,l}}{R_o}$	**Max. zulässige örtliche Abflachung** $U = \frac{L_{c,l}^2}{8} \cdot \left(\frac{1}{R_o} - \frac{1}{R_{o,l}} \right)$	**Korrigierter Durchmesser des Messkreises *** $L_{c,l} = \frac{2,2}{\sqrt[4]{\frac{3}{4} \cdot (1 - \nu^2)}} \cdot \sqrt{R_{o,l} \cdot s_l}$	**Korrekturfaktor für den elastisch-plastischen Beuldruck** $p_{cr}^{i}{}'$ $c_p = \left(\frac{R_{o,l}}{1,3 \cdot R_o} \right)^{1,07}$
1,3	$0,218 \cdot s_l$	$2,759 \cdot \sqrt{R_{o,l} \cdot s_l}$	1,000
1,4	$0,290 \cdot s_l$	$2,863 \cdot \sqrt{R_{o,l} \cdot s_l}$	1,083
1,5	$0,363 \cdot s_l$	$2,964 \cdot \sqrt{R_{o,l} \cdot s_l}$	1,165
1,6	$0,435 \cdot s_l$	$3,061 \cdot \sqrt{R_{o,l} \cdot s_l}$	1,249
1,7	$0,508 \cdot s_l$	$3,155 \cdot \sqrt{R_{o,l} \cdot s_l}$	1,332
1,8	$0,580 \cdot s_l$	$3,247 \cdot \sqrt{R_{o,l} \cdot s_l}$	1,417
1,9	$0,653 \cdot s_l$	$3,336 \cdot \sqrt{R_{o,l} \cdot s_l}$	1,501
2,0	$0,725 \cdot s_l$	$3,422 \cdot \sqrt{R_{o,l} \cdot s_l}$	1,586

* $L_{c,l} = \frac{2,2}{\sqrt[4]{\frac{3}{4} \cdot (1 - \nu^2)}} \cdot \sqrt{\frac{R_{o,l}}{R_o}} \cdot \sqrt{R_o \cdot s_l}$

Die Tabelle B.3 gilt für ein Wanddickenverhältnis $\frac{s}{R_0} \geq 0,02$ und für Werkstoffe mit einer Fließgrenze $\sigma_{0,2} \leq 550$ MPa.

Anhang C

Acrylglasfenster

A. Allgemeines

1. Geltungsbereich

Acrylglasfenster im Sinne dieser Vorschrift sind ebene oder gewölbte Fenster für Druckkörper-Sichtöffnungen, die aus gegossenem, unlaminiertem Polymethyl-Methacrylat-Kunststoff hergestellt werden.

2. Einsatzgrenzen

Für Acrylglasfenster gelten folgende Einsatzgrenzen:

– Berechnungslebensdauer (siehe Erläuterung unten)	10 bzw. 20 Jahre
– Temperaturbereich	–18 °C bis +66 °C
– Druckwechselrate	max. 10 bar/s
– Druckzyklen bei Berechnungsdruck	max. 10.000
– Druckdauer bei Berechnungsdruck	max. 40.000 h
– zulässiger Betriebsüberdruck	max. 1380 bar

Die Berechnungslebensdauer hängt von vielen Faktoren, insbesondere aber von der Belastungsart ab. Als maximale Berechnungslebensdauer für sphärische oder zylindrische Fenster unter äußerem Überdruck, die ausschließlich Druckspannungen oder nur geringen Biegespannungen ausgesetzt sind, ist generell 20 Jahre, für flache Fenster mit ebenem Sitz 10 Jahre anzusetzen. Die Berechnungslebensdauer beginnt mit dem Fertigungsdatum unabhängig vom Einsatz im Unterwasserfahrzeug.

Eine Verlängerung der Nutzungsdauer von Acrylglasfenstern kann in Abhängigkeit von den bisherigen, tatsächlichen Belastungen der Fenster und nach Durchführung von mit dem GL im Einzelnen abzustimmenden Prüfungen genehmigt werden.

3. Genehmigungen/Zulassungen

Für die Planung und Erzeugung eines Acrylglasfensters werden die folgenden Genehmigungen/Zulassungen benötigt:

- Genehmigung der Zeichnungen und der Auslegung für jeden Typ von Fenster und jede Anordnungsform durch den GL
- Zulassung als Werkstoffhersteller durch den GL
- Abnahmeprüfzeugnis des Herstellers für den Werkstoff, vgl. B.3.
- Zulassung als Acrylglas-Fensterhersteller durch den GL
- GL-Zertifikat, welches die Bau- und Druckprüfung entsprechend C.6. bescheinigt

B. Werkstoffe

1. Die Werkstoffe für Acrylglasfenster müssen nach einem anerkannten Standard (z.B. ANSI/ASME PVHO 1, Section 2) hergestellt werden. Der Hersteller hat dies vor Beginn der Fertigung entsprechend zu bescheinigen.

2. Acrylglasfenster müssen die in Tabelle C.1 aufgeführten physikalischen Mindestanforderungen erfüllen.

3. Jede Charge Acrylglas, die zu Fenstern verarbeitet werden soll, ist vom Hersteller gemäß Tabelle C.1 zu prüfen und dafür ein Abnahmeprüfzeugnis mit mindestens folgenden Angaben auszustellen:

- Zeugnisnummer und Datum
- Name und Anschrift des Herstellers
- Bezeichnung der Gusssorte und Verwendungszweck
- Chargennummer, Anzahl, Form und Abmessungen der Gussstücke
- Kennzeichnung der Gussstücke
- Ergebnisse der durchgeführten Prüfungen gemäß Tabelle C.1
- Stempel und Unterschrift

4. Liegt ein entsprechendes Abnahmeprüfzeugnis des Herstellers über das Acrylglas nicht vor bzw. sind die Voraussetzungen zur Anerkennung des Abnahmeprüfzeugnisses nicht gegeben, ist ein erweiterter Prüfumfang erforderlich, der im Einzelfall mit dem GL abzustimmen ist.

5. Jedes Gussstück ist an mindestens einer Stelle mit einer Kennzeichnung zu versehen, aus der die Gusssorte, die Chargennummer, das Herstelldatum und der Hersteller ersichtlich sind.

C. Herstellung von Fenstern

1. Die Herstellung von Acrylglasfenstern im Sinne dieser Vorschriften darf nur in Fachbetrieben erfolgen, die vom GL eine entsprechende Zulassung erhalten haben. Die Zulassung kann nur solchen Betrieben erteilt werden, die über entsprechend geschultes Fachpersonal sowie über die erforderlichen technischen Einrichtungen verfügen, um eine sachgerechte Formgebung, Bearbeitung, Wärmebehandlung und Qualitätskontrolle an Acrylglasfenstern durchführen zu können.

Die Zulassung ist vor Beginn der Fensterfertigung beim GL zu beantragen.

2. Das zu verarbeitende Acrylglas muss den Anforderungen gemäß B. entsprechen. Nach der Bearbeitung und ggf. Verformung ist jedes Fenster einer Wärmebehandlung (Anlassen) entsprechend der Spezifikation des Acrylglas-Herstellers zu unterziehen. Nach dem Anlassen darf das Fenster nicht mehr maschinell poliert werden.

Flachfenster für Taucherdruckkammern. bei denen nur der Rand fachgerecht bearbeitet wird, müssen nicht einer Wärmebehandlung nach der Fertigung unterzogen werden.

3. Die Fensterflächen sind so zu polieren, dass die optischen Anforderungen an die Verzerrungsfreiheit gemäß Tabelle C.1 erfüllt werden.

4. Für jedes Fenster bzw. jede Fensterserie ist vom Fensterhersteller eine Bauteilbescheinigung auszustellen, aus der alle Verarbeitungsschritte wie z.B. Schneiden, Kleben, Polieren, Verformen und Anlassen hervorgehen. Ferner sind die durchgeführten Prüfungen, die Prüfergebnisse sowie die Kennzeichnung der Fenster und das Herstelldatum anzugeben.

5. Jedes Fenster ist mit einer dauerhaften Kennzeichnung zu versehen, die mindestens folgende Angaben enthalten muss:

- Berechnungsdruck PR = **NDP** [bar]
- Berechnungstemperatur [°C]
- Abnahmestempel des GL
- Name des Herstellers oder Identifikationssymbol
- Seriennummer und Herstellungsjahr
- Druckrichtung, sofern diese nicht eindeutig ist

Die Kennzeichnung ist soweit wie möglich im nichttragenden Bereich des Fensterrandes einzugravieren. Die Verwendung von Schlagstempeln ist nicht zulässig.

6. Acrylglasfenster sind dem GL zur Bauprüfung vorzustellen. Ferner ist jedes Fenster im Beisein eines GL-Besichtigers einer Druckprüfung gemäß GL Vorschriften für Bemannte Unterwasserfahrzeuge (I-5-2), Abschnitt 2, F.3.3 zu unterziehen. Bei der Druckprüfung ist die Druckrichtung zu beachten. Sofern die Fenster von beiden Seiten mit Druck beaufschlagt werden, ist dieses bei der Prüfung zu berücksichtigen.

D. Fensterformen und Abmessungen

1. Für Acrylglasfenster sind die Standardformen und Abmessungen gemäß Tabelle C.2, C.3 bzw. C.4 zu wählen. Als Berechnungsdruck PR ist im Allgemeinen der Nenntauchdruck **NDP** einzusetzen, siehe auch GL Vorschriften für Bemannte Unterwasserfahrzeuge (I-5-2), Tabelle 4.2 bzw. Unbemannte Unterwasserfahrzeuge (ROV, AUV) und Unterwasser-Arbeitsmaschinen (I-5-3), Tabelle 3.2.

2. Acrylglasfenster anderer Formen, Abmessungen oder Druckbereiche können auf Anfrage verwendet werden, wenn diese durch den GL zugelassen sind, oder wenn diese nach einem vom GL anerkannten Standard ausgelegt und hergestellt werden.

Acrylglasfenster können in diesem Fall z.B. gemäß ASME PVHO-1, Section 2 ausgeführt werden.

3. Als Berechnungstemperatur für Acrylglasfenster soll der Mittelwert der höchsten unter Berechnungsdruckbedingungen zu erwartenden Außen- und Innentemperaturen gewählt werden.

4. Fenster, die von beiden Seiten mit Druck beaufschlagt werden, sind für den maximal auftretenden Druck auszulegen, unabhängig davon, ob der Druck innerhalb oder außerhalb herrscht.

5. Kugelschalenfenster dürfen nur auf der konvexen Seite mit Druck beaufschlagt werden

6. Die Dicke der Fenster muss überall gleich oder größer dem Mindestwert sein, der sich nach dem Verfahren gemäß Tabelle C.2, C.3 bzw. C.4 ergibt. Bei Zwischentemperaturen kann linear interpoliert werden.

7. Bei Flachfenstern mit rechtwinkligem Rand und O-Ring-Dichtung soll der Außendurchmesser der Scheibe innerhalb +0,00/–0,25 mm des Nennwertes liegen; bei Verwendung von Flachdichtungen innerhalb +0,00/–0,75 mm.

8. Nuten für Dichtungen sollen wegen der spannungserhöhenden Wirkung nicht im Bereich der Tragfläche eines Acrylfensters und auch nicht im Acrylfenster selbst angeordnet werden.

9. Der größere Durchmesser der konischen Tragfläche eines Acrylglasfensters soll innerhalb +0,000/–0,002 D_o des Nennwertes liegen

Der einbeschriebene konische Winkel des Fensters soll innerhalb +0,25/–0,00 Grad des Nennwertes liegen.

10. Die konkave oder konvexe Fensteroberfläche soll vom idealen Kugelabschnitt nicht mehr als ± 0,5 % des Nennwertes des Kugelaußenradius abweichen.

11. Die Tragfläche des Fensters soll eine Oberflächenrauheit von mindesten R_a = 0,75 µm aufweisen

E. Montage der Fenster..

1. Sofern der Fenstersitz aus nicht korrosionsfreiem Material besteht, ist er vor der Montage ausreichend mit einem geeigneten Mittel zu konservieren. Außerdem sind Fenster und Fenstersitz entsprechend sorgfältig zu säubern, wobei nur Putzmaterialien, die mit dem Acrylglas verträglich sind, zu verwenden sind.

2. Konische Fenstersitze sind vor der Montage mit Silikon oder einem geeigneten Schmiermittel zu behandeln.

3. Bei der Montage des Fensters ist darauf zu achten, dass die Schrauben des Befestigungsringes mit dem vorgeschriebenen und überall gleichen Drehmoment angezogen werden.

Tabelle C.1 Mechanische und optische Eigenschaften von Acrylglas

Eigenschaften	Sollwerte	Prüfverfahren	ASTM
Zugfestigkeit	≥ 62 N/mm²	DIN 53 455 [1] Probenform 3 Prüfgeschwindigkeit II Normalklima 23/50	D 638 [1]
Reißdehnung (bezogen auf Einschnürzone)	≥ 2 %		
E-Modul aus Zugversuch	≥ 2760 N/mm²	DIN 53 457	
Quetschspannung	≥ 103 N/mm²	DIN 53 454 [1] Normalklima 23/50 Probenabmessungen: 25 x 12,5 x 12,5 mm	D 695 [1]
E-Modul aus Druckversuch	≥ 2760 N/mm²	DIN 53457 [1]	
Druckdeformation	≤ 1 %	Konstante Druckspannung [1] von 27,5 N/mm² für 24 h bei 50 °C Probenwürfel: 12,5 mm Kantenlänge	D 621 [1]
Durchlässigkeit von UV-Licht	≤ 5 %	UV-Spektrophotometer Wellenlängenbereich: 290 - 370 nm Probendicke: 12,5 mm	E 308
Verzerrungsfreiheit	Lesbarkeit	Ein 25 x 25 mm Standardschriftsatz mit 7 Zeilen à 16 Buchstaben muss aus 500 mm Entfernung durch die Acrylglasscheibe hindurch deutlich lesbar sein.	D 702
Restmonomer Methyl Methacrylat Aethyl Acrylat	≤ 1,6 %	Gaschromatograph	

[1] Die mechanischen Eigenschaften sind an mindestens 2 Probestücken nachzuweisen.

Tabelle C.2 Standardabmessungen für Flachfenster

Geltungsbereich:

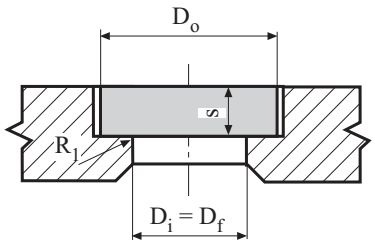
Mindestwandstärke : $s \geq 12{,}5$ mm

Schlankheitsgrad : $s/D_o \geq 0{,}125$

Kantenradius : $1 \text{ mm} \leq R_1 \leq 2 \text{ mm}$

Fensterauflage : $1{,}25 \leq D_o/D_f \leq 1{,}5$ mm

Zulässiger Betriebsüberdruck : $p \leq 170$ bar



Berechnungsdruck PR [bar]	**Mindestwandstärke / Sitzinnendurchmesser s/D_i bei**				
	10 °C	**24 °C**	**38 °C**	**52 °C**	**66 °C**
5	0,134	0,146	0,154	0,164	0,188
10	0,154	0,173	0,188	0,201	0,226
15	0,173	0,195	0,210	0,223	0,253
20	0,188	0,210	0,226	0,240	0,281
25	0,201	0,223	0,240	0,257	0,305
30	0,210	0,233	0,253	0,274	0,324
35	0,219	0,243	0,267	0,292	0,344
40	0,226	0,253	0,281	0,305	0,363
45	0,233	0,264	0,295	0,317	0,383
50	0,240	0,274	0,305	0,329	0,402
60	0,253	0,295	0,324	0,354	0,441
70	0,267	0,310	0,344	0,378	0,480
80	0,281	0,324	0,363	0,402	0,520
90	0,295	0,339	0,383	0,427	0,559
100	0,305	0,354	0,402	0,451	0,598
110	0,315	0,368	0,422	0,476	0,637
120	0,324	0,383	0,441	0,500	0,676
130	0,334	0,398	0,461	0,524	0,715
140	0,344	0,412	0,480	0,549	0,754
150	0,354	0,427	0,500	0,573	0,793
160	0,363	0,441	0,520	0,598	0,832
170	0,373	0,456	0,539	0,622	0,871

Tabelle C.3 Standardabmessungen für Kugelschalenfenster mit konischem Sitz (Öffnungswinkel 60° / 90°)

Geltungsbereich:

Öffnungswinkel : $\alpha \geq 60°$

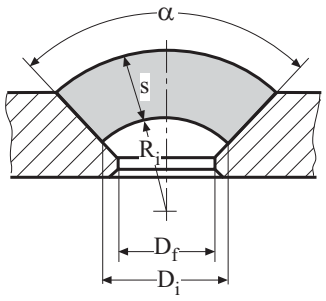
Mindestwandstärke : $s \geq 12{,}5$ mm

Mindestwerte für s/R_i :

α	$60° \leq \alpha < 90°$	$90° \leq \alpha < 120°$
s/R_i	0,09	0,06

Fensterauflage : $D_i/D_f \geq 1{,}02$

Zulässiger Betriebsüberdruck : $p \leq 170$ bar



Berechnungsdruck PR [bar]	Mindestwandstärke / Sitzinnendurchmesser s/D_i für $60° \leq \alpha < 90°$ bei					Berechnungsdruck PR [bar]	Mindestwandstärke / Sitzinnendurchmesser s/D_i für $90° \leq \alpha < 120°$ bei				
	10 °C	24 °C	38 °C	52 °C	66 °C		10 °C	24 °C	38 °C	52 °C	66 °C
5	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	5	0,042	0,042	0,042	0,042	0,049
10	0,090	0,090	0090	0,090	0,112	10	0,042	0,043	0,049	0,054	0,070
15	0,090	0,090	0,097	0,108	0,140	15	0,043	0,052	0,060	0,067	0,089
20	0,090	0,097	0,112	0,126	0,166	20	0,049	0,060	0,070	0,080	0,107
25	0,090	0,108	0,126	0,143	0,191	25	0,054	0,067	0,080	0,091	0,124
30	0,097	0,119	0,140	0,160	0,215	30	0,060	0,075	0,089	0,102	0,142
35	0,104	0,129	0,153	0,176	0,238	35	0,065	0,082	0,098	0,113	0,160
40	0,112	0,140	0,166	0,191	0,259	40	0,070	0,089	0,107	0,124	0,177
45	0,119	0,150	0,179	0,206	0,279	45	0,075	0,095	0,116	0,135	0,194
50	0,126	0,160	0,191	0,221	0,298	50	0,080	0,102	0,124	0,146	0,210
60	0,140	0,179	0,215	0,248	0,332	60	0,089	0,116	0,142	0,168	0,242
70	0,153	0,197	0,238	0,274	0,363	70	0,098	0,128	0,160	0,190	0,272
80	0,166	0,215	0,259	0,298	0,391	80	0,107	0,142	0,177	0,210	0,300
90	0,179	0,232	0,279	0,320	0,416	90	0,116	0,155	0,194	0,230	0,327
100	0,191	0,248	0,298	0,340	0,439	100	0,124	0,168	0,210	0,250	0,351
110	0,203	0,264	0,315	0,359	0,460	110	0,133	0,181	0,226	0,269	0,373
120	0,215	0,279	0,332	0,377	0,480	120	0,142	0,194	0,242	0,287	0,393
130	0,227	0,293	0,348	0,394		130	0,151	0,206	0,257	0,304	0,411
140	0,238	0,307	0,363	0,410		140	0,160	0,218	0,272	0,320	
150	0,248	0,320	0,377	0,425		150	0,168	0,230	0,287	0,336	
160	0,259	0,332	0,391	0,439		160	0,177	0,242	0,300	0,351	
170	0,269	0,344	0,404	0,452		170	0,185	0,254	0,314	0,365	

Tabelle C.4 Standardabmessungen für Kugelschalenfenster mit konischem Sitz (Öffnungswinkel 120°/180°)

Geltungsbereich:

Öffnungswinkel : $180° \geq \alpha \geq 120°$

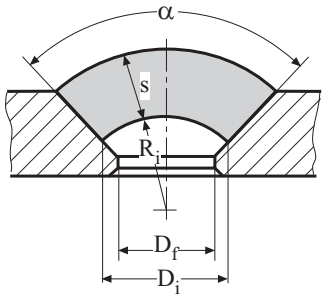
Mindestwandstärke : $s \geq 12{,}5$ mm

Mindestwerte für s/R_i :

α	$120° \leq \alpha < 180°$	$\alpha = 180°$
s/R_i	0,06	0,03

Fensterauflage : $D_i/D_f \geq 1{,}02$

Zulässiger Betriebsüberdruck : $p \leq 170$ bar



Berechnungsdruck PR [bar]	Mindestwandstärke / Sitzinnendurchmesser s/D_i für $120° \leq \alpha < 180°$ bei					Berechnungsdruck PR [bar]	Mindestwandstärke / Sitzinnendurchmesser s/D_i für $\alpha = 180°$ bei				
	10 °C	24 °C	38 °C	52 °C	66 °C		10 °C	24 °C	38 °C	52 °C	66 °C
5	0,021	0,023	0,025	0,028	0,034	5	0,018	0,018	0,019	0,021	0,026
10	0,025	0,030	0,034	0,038	0,050	10	0,019	0,023	0,026	0,030	0,041
15	0,030	0,036	0,042	0,048	0,067	15	0,023	0,028	0,034	0,039	0,056
20	0,034	0,042	0,050	0,059	0,083	20	0,026	0,034	0,041	0,049	0,071
25	0,038	0,048	0,059	0,069	0,100	25	0,030	0,039	0,049	0,058	0,086
30	0,042	0,054	0,067	0,079	0,117	30	0,034	0,045	0,056	0,068	0,101
35	0,046	0,061	0,075	0,090	0,131	35	0,038	0,051	0,064	0,077	0,115
40	0,050	0,067	0,083	0,100	0,146	40	0,041	0,056	0,071	0,086	0,129
45	0,054	0,073	0,092	0,110	0,161	45	0,045	0,062	0,079	0,096	0,142
50	0,059	0,079	0,100	0,119	0,175	50	0,049	0,068	0,086	0,105	0,155
60	0,067	0,092	0,117	0,138	0,204	60	0,056	0,079	0,101	0,122	0,182
70	0,075	0,104	0,131	0,157	0,232	70	0,064	0,090	0,115	0,139	0,207
80	0,083	0,117	0,146	0,175	0,259	80	0,071	0,101	0,129	0,155	0,232
90	0,092	0,127	0,161	0,193	0,285	90	0,079	0,112	0,142	0,172	0,256
100	0,100	0,138	0,175	0,211	0,310	100	0,086	0,122	0,155	0,188	0,278
110	0,108	0,149	0,190	0,228	0,334	110	0,094	0,132	0,168	0,204	0,299
120	0,117	0,161	0,204	0,245	0,357	120	0,101	0,142	0,182	0,220	0,319
130	0,123	0,171	0,218	0,262	0,379	130	0,108	0,152	0,194	0,235	0,337
140	0,131	0,182	0,232	0,278	0,400	140	0,115	0,162	0,207	0,250	0,352
150	0,138	0,193	0,245	0,294		150	0,122	0,172	0,220	0,264	0,366
160	0,146	0,204	0,259	0,310		160	0,129	0,182	0,232	0,278	
170	0,153	0,214	0,272	0,325		170	0,135	0,191	0,244	0,292	

Anhang D

Herstellung und Behandlung von faserverstärkten Kunststoffen (FVK)

A. Allgemeines

1. Definition

Faserverstärkte Kunststoffe sind heterogene Werkstoffe, bestehend aus einer aushärtbaren Reaktionsharzmasse als Matrix und eingebetteten faserförmigen Verstärkungsmaterialien.

2. Anwendungsbereich

Bei Unterwasserfahrzeugen werden Kunststoffe vor allem für folgende Bauteile angewendet:

– Außenstruktur

– Ruder und Propeller

– Druckbehälter

B. Anforderungen an die Werkstoffe und deren Verarbeitung

1. Werkstoffe

1.1 Zulassung

1.1.1 Die für die Fertigung von Bauteilen aus FVK verwendeten Werkstoffe müssen geprüft und durch den GL zugelassen sein.

1.1.2 Die Zulassung umfasst ausschließlich den zugelassenen Werkstoff. Die Verwendbarkeit dieses Werkstoffes in Verbindung mit anderen Werkstoffen ist davon unabhängig durch den Hersteller oder den Anwender in geeigneter Form nachzuweisen.

1.2 Qualitätssicherung

1.2.1 Der Hersteller hat durch geeignete Qualitätssicherungs-Maßnahmen eine gleich bleibende Qualität der Werkstoffe sicherzustellen.

1.2.2 Der GL behält sich das Recht vor, während der Laufzeit von Werkstoffzulassungen Nachprüfungen der Werkstoffeigenschaften zu verlangen bzw. durchzuführen.

1.3 Arten von Werkstoffen

Für den Bau von Unterwasserfahrzeugen kommen im Regelfall folgende Arten von Werkstoffen in Betracht:

– Reaktionsharzmassen, z. B. kalthärtende oder warmhärtende ungesättigte Polyester (UP)- und Epoxid (EP)-Harze

– Verstärkungsmaterialien, z. B. Faserverstärkungen aus Glas und Kohlenstoff

– Prepregs als Verstärkungswerkstoffe, welche mit Reaktionsharzmasse vorgetränkt sind und ohne weiteren Zusatz von Harzmassen oder Härtern verarbeitet werden können

– Kernwerkstoffe, z. B. Hartschaumstoffe mit entsprechender Druckfestigkeit

– Klebstoffe, z. B. kalt- und warmhärtende hochfeste Reaktionsklebstoffe und Schmelzkleber

– feuerhemmende Laminate erzeugt durch Zusätze zum Harzsystem, wobei die Viskosität des Harzes oder die mechanischen Eigenschaften der gefertigten Laminate nicht wesentlich verändert werden dürfen

Andere Werkstoffe können in Absprache mit der GL-Unternehmenszentrale ebenfalls zugelassen werden.

2. Fertigung

2.1 Zulassung

2.1.1 Die Herstellung von FVK-Strukturbauteilen darf nur in Betrieben durchgeführt werden, die eine GL Zulassung für die Fertigung von Bauteilen aus faserverstärkten Reaktionsharzen haben.

2.1.2 Die Herstellung von FVK-Strukturbauteilen darf nur von Personen mit Fachkenntnis ausgeführt werden. Die Fachkenntnis ist in der Regel durch Zeugnisse von entsprechenden Lehrgängen zu belegen.

2.1.3 Alle Fertigungswerkstätten, Lagerräume und deren betrieblichen Einrichtungen müssen den Forderungen der zuständigen Behörden entsprechen. Für die Einhaltung dieser Anforderungen ist der Hersteller allein verantwortlich.

2.2 Lagerräume und Laminierwerkstätten

Die Gefahr der Verunreinigung von Laminierwerkstoffen ist durch eine Trennung von Fertigungsstätten und Lagerräumen möglichst gering zu halten.

2.3 Richtlinien für die Verarbeitung

2.3.1 Grundsätzlich sind nur vom GL zugelassene Werkstoffe zu verwenden. Neben der Auswahl geeigneter und zugelassener Materialien hat deren Verarbeitung wegen des großen Einflusses auf die Eigenschaften des Produktes mit besonderer Sorgfalt zu erfolgen.

2.3.2 Neben den GL Vorschriften sind für die Aufbereitung und Verarbeitung der Harzmassen und des Verstärkungsmaterials auch die Hinweise der Werkstoffhersteller sowie die Anforderungen der zuständigen Behörden zu beachten.

2.4 Herstellungsüberwachung

Für Bauteile aus FVK muss die Herstellungsüberwachung die Kontrolle der Qualität der Ausgangsstoffe, die Fertigungsüberwachung und die Qualitätsprüfung der fertigen Bauteile umfassen.

2.5 Reparatur von Bauteilen

2.5.1 Die Reparatur von FVK-Strukturbauteilen darf nur in Betrieben durchgeführt werden, die eine GL Zulassung haben.

2.5.2 Damit eine Reparatur genehmigt werden kann, sind alle für die Beurteilung der Reparatur notwendigen Konstruktions- und Reparaturzeichnungen von den betroffenen Bauteilen einzureichen. Der Reparaturplan ist von der GL Unternehmenszentrale zu prüfen und freizugeben.

2.5.3 Über jede Reparatur ist ein Protokoll zu führen, welches von dem Leiter des Reparaturteams zu unterzeichnen ist.

2.5.4 Sind die für die Reparatur verwendeten Werkstoffe und Laminate nicht mit den bei der Herstellung des Bauteiles verwendeten Materialien identisch, ist die Gleichwertigkeit der Werkstoffpaarung bezüglich der Eigenschaften nachzuweisen.

3. Detaillierte Anforderungen

Die detaillierten Anforderungen für die aufgezeigten Bereiche sind in der GL Vorschrift für Faserverbundwerkstoffe und Kleben (II-2-1) definiert.

C. Anforderungen an die Konstruktion

1. Konstruktionsangaben

Die mechanischen Eigenschaften und die Nenndicke des Laminats sowie das Gewicht, die Art und der Anteil der einzelnen zu verwendenden Verstärkungslagen sind auf den Konstruktionszeichnungen anzugeben.

2. Konstruktive Maßnahmen

Bei der Konstruktion von Bauteilen sind folgende Maßnahmen zu berücksichtigen:

2.1 Änderungen in der Laminatdicke müssen mit einem allmählichen Übergang von mindestens 25 mm pro 600 g/m^2 erfolgen. Im Übergangsbereich einer Sandwichkonstruktion auf ein massives Laminat ist der Kernwerkstoff allmählich (mindestens 3 : 1) zu verjüngen.

2.2 Im Allgemeinen sind Spant- und Versteifungssektionen Lage um Lage auf dem Laminat aufzubauen, solange die letzte Lage noch nicht ausgehärtet ist. Wo Innenverbände sich kreuzen, ist besondere Sorgfalt darauf zu verwenden, dass die Tragfähigkeit unvermindert erhalten bleibt.

2.3 Geschlossene Hohlräume in der Konstruktion, die unter Außendruck gelangen können, sind zu vermeiden.

2.4 Werden Kernwerkstoffe in Bereichen eingesetzt, die unter Außendruck gelangen können, sind druckfeste Materialien, wie z.B. Hartschaumstoffe, zu verwenden.

2.5 Spannungskonzentrationen, Steifigkeitssprünge und Unstetigkeiten sind zu vermeiden. Es ist dafür zu sorgen, dass durch Ausschnitte, Öffnungen in tragenden Bauteilen und den Anschluss von Beschlägen die Festigkeit des Bauteiles nicht beeinträchtigt wird.

2.6 Werden mehrere in verschiedenen Formen hergestellte Bauteile miteinander verbunden, so müssen die Verbindungslaminate vor Aushärtung der Bauteile fertig gestellt werden.

Werden Bauteile aus FVK miteinander oder mit Bauteilen aus anderen Werkstoffen verschraubt, so müssen die Verbindungsmittel (Schrauben, Muttern, Unterlegscheiben) aus seewasserbeständigen Werkstoffen bestehen. Schraubverbindungen müssen den auftretenden Kräften entsprechend bemessen sein.

2.7 Im Bereich örtlicher Kräfteeinleitungen (z. B. Verbindungselemente der Außenstruktur, Pollern, Klampen) sind Unterleg- und/oder Einleg-Futterstücke angemessener Festigkeit anzuordnen. Die Festigkeit, z.B. Lochleibungsfestigkeit, ist in geeigneter Weise nachzuweisen. Die Verbindungsfläche dieser Futterstücke ist in geeigneter Weise zuzurichten und muss frei von Verunreinigungen sein.

2.8 In der Konstruktion verwendete metallische Werkstoffe wie z. B. Stahl oder Aluminiumlegierungen müssen für den vorgesehenen Verwendungszweck geeignet sein und dürfen die Aushärtung der Laminierharzmasse nicht beeinträchtigen.

Örtliche Verstärkungen aus metallischen Werkstoffen sind sorgfältig zu reinigen und zu entfetten und, sofern

möglich, zu strahlen oder anzurauen, um eine Verzahnungswirkung zu erzielen.

2.9 Bei Sandwichlaminaten sind im Bereich von Schraubenverbindungen und Beschlägen Einsätze aus einem Material vorzusehen, das dem Zusammendrücken und den Entwurfsbelastungen widerstehen kann. Die Einsätze sind mit dem Kernwerkstoff und den Laminatschichten gut zu verbinden.

2.10 Die Kanten und Löcher in Laminaten sind zu versiegeln.

2.11 Weitere konstruktive Maßnahmen die für verschiedenste schiffbauliche Bauelemente aus Kunststoffen zu empfehlen sind, sind in den GL Vorschriften Yachts ≥ 24 m (I-3-2), Section 2, E. und Yachts and Boats up to 24 m (I-3-3), Section 1, B. und C. enthalten.

Anhang E

Grundsätzliche Anforderungen an Umbilicals

A. Allgemeines

1. Definition

Als Umbilical wird das Verbindungsglied zwischen Versorgungsschiff und einem Element unter Wasser angesehen, welches Schlauchleitungen für Flüssigkeits- oder Gastransport sowie Überwachungs-, Kommunikations-, Datenübertragungs- und Energieversorgungskabel und gegebenenfalls auch ein Tragseil enthalten kann.

Diese gebündelte oder integrierte Versorgungsleitung kann auch zwischen Elementen unter Wasser verwendet werden.

Als Elemente unter Wasser im Sinne dieses Anhangs sind z. B.:

– Tauchkammern

– Nicht-autonome (bemannte) und ferngesteuerte (unbemannte) Unterwasserfahrzeuge

– Launcher

– Unterwasser-Arbeitsmaschinen

– Tauchgeräte

anzusehen.

Das integrierte oder auch unabhängige Tragseil dient zum Aussetzen und Wiedereinholen sowie zum Anheben oder Absenken eines Elements unter Wasser sowie zur Aufnahme von Zugbeanspruchungen während des Betriebes. Das Tragseil kann auch als Tragelement, z. B. als Geflecht im Mantel des Umbilicals ausgeführt sein.

2. Geltungsbereich

Dieser Anhang gilt für die technischen Anforderungen und die Prüfung von Umbilicals einschließlich Verbindungsstücken sowie Absperrorganen an den Enden und Lastaufnahmepunkten. Die Lastaufnahmepunkte des Versorgungsschiffs/Elements sind nicht Bestandteil dieses Anhangs.

Weiterhin gilt dieser Anhang für Kabel und Schlauchleitungen, die unter äußeren Überdruck gelangen können und integrierte Tragseile.

Die Durchdringung in den Druckkörper bzw. in die Druckbehälter ist Teil des Elements.

Es werden einige grundsätzliche Forderungen für die Auf- und Abrolleinrichtung aufgestellt.

Die Versorgungseinrichtungen für die durch das Umbilical transportierten Stoffe, Daten und Energien sind Teil des Versorgungsschiffes oder Elements und werden in dieser Anlage nicht behandelt.

Umbilicalsysteme für Produktionszwecke, wie z. B. in der Öl- und Gasindustrie gebräuchlich, sind primär nicht Gegenstand dieses Anhangs.

3. Qualitätsmanagement System

Der Hersteller von Umbilicals hat ein anerkanntes Qualitätsmanagement System, wie z. B. ISO 9001 oder gleichwertig, anzuwenden. Dieses System soll sich mindestens auf Auslegung, Herstellung und Prüfungen erstrecken.

4. Gleichwertigkeit

Umbilicals, die bezüglich ihres Typs, Aufbaus und der Erfüllung von einigen Detailanforderungen von diesem Anhang abweichen, können vom GL akzeptiert werden, wenn sie bezüglich der prinzipiellen, in diesem Anhang definierten Anforderungen als gleichwertig befunden werden.

B. Grundsätze für Auslegung und Konstruktion

1. Allgemeines

1.1 Die im Folgenden definierten Anforderungen sind Minimalanforderungen für die Mehrheit der voraussichtlichen Verwendungszwecke. Bei besonderen Anwendungen ist das Anforderungsprofil mit dem GL zu vereinbaren.

1.2 Im Allgemeinen sind folgende Anforderungen beim Entwurf zu berücksichtigen:

– Umwelteinflüsse, siehe GL Vorschriften für Bemannte Unterwasserfahrzeuge (I-5-2), Abschnitt 2, D.

– Gewichtseinfluss (Eigengewicht, leer, gefüllt)

– Auftriebsverhalten (Auftrieb, Abtrieb, auftriebsneutral)

– dynamische Einflüsse durch Schiffsbewegung und durch Druckauf- und Abbau im Inneren

– thermische Einflüsse auf Ausdehnen und Zusammenziehen infolge möglicher Temperaturänderungen innen oder außen

– thermische Einflüsse durch teilweise aufgetrommelte Leistungskabel

– Druckdifferenzen in Schläuchen zwischen oberem und unterem Ende des Umbilicals

– chemische und elektrochemische Einflüsse

1.3 Die Steuerung der Auf- und Abrolleinrichtung für das Umbilical und die Überwachung des Versorgungsflusses durch das Umbilical einschließlich der Erzeugung der zu übertragenden Versorgungsmittel sind an einer zentralen Stelle zusammenzufassen.

Bei bemannten, nicht-autonomen Unterwasserfahrzeugen ist die Steuerung und Überwachung in den Kontrollstand, der die Verbindung mit dem Unterwasserfahrzeug aufrecht hält, zu integrieren. Bei unbemannten, ferngesteuerten Unterwasserfahrzeugen und anderen Elementen sind diese in den Fahrstand zu integrieren.

1.4 Umbilicals sollen möglichst in der ganzen erforderlichen Länge aus einem Stück gefertigt und nicht aus Teillängen zusammengesetzt werden.

1.5 Anforderungen und Prüfungen für Umbilicals von schlauchversorgten Tauchgeräten sind der Norm EN 15333-1 zu entnehmen.

2. Mechanische Anforderungen

2.1 Material

Es dürfen nur Materialien entsprechend allgemein anerkannten Normen eingesetzt werden und ihre Verwendung muss einwandfrei dokumentiert und nachverfolgbar sein.

Die Materialien müssen für den Einsatz in Salzwasser geeignet sein. Sofern ein Einsatz in anderen Medien als Wasser geplant ist, sind diese entsprechend zu berücksichtigen.

Die Materialien der Schlauchleitungen müssen für das zu transportierende Medium geeignet sein.

Die Materialien müssen für dauerhafte und wechselnde Biegebeanspruchung geeignet sein.

Bei der Verwendung von Schläuchen für Atemgase ist deren Eignung nachzuweisen (z. B. Offgassing-Prüfung).

Umbilicals, Schlauchleitungen und Kabel sind gegen Abrieb und Beschädigungen zu schützen.

Bei Umbilicals ist bei der Schutzummantelung darauf zu achten, dass bei kleinen Schlauchleckagen kein Innendruck aufgebaut werden kann. Metalleinlagen in der Schutzummantellung sind zu vermeiden.

2.2 Zugbeanspruchung

2.2.1 Bei Umbilicals mit integriertem Tragseil sind die mechanischen Eigenschaften an Hand der eingereichten Unterlagen zu beurteilen. Dafür sind vom Hersteller der maximal zulässige Zug und die minimale Bruchlast des Umbilicals anzugeben. Bei Tragseilen aus Stahl darf die größte statische Zugkraft in Folge der Nutzlast 1/8 der nachgewiesenen Seilbruchkraft nicht überschreiten. Bei der Verwendung von Tragseilen aus Chemiefasern darf die größte statische Zugkraft in Folge der Nutzlast 1/10 der nachgewiesenen Seilbruchkraft nicht überschreiten.

Bei der Verwendung von Tragseilen für einfache wissenschaftliche Geräte kann je nach Gefährdungspotential und Einsatzzweck in Abstimmung mit dem GL eine geringere Seilbruchkraft zugelassen werden.

Weiterhin ist die Funktionsfähigkeit der im Umbilical enthaltenen Elemente bei maximal möglicher Längsdehnung des Umbilicals zu berücksichtigen.

Das Umbilical ist für den gesamten Bereich der Zugbeanspruchung derart aufzubauen, dass es torsionsneutral ist.

2.2.2 Falls keine Ausstattung mit Tragseil vorliegt, sind die integrierten Kabel und Leitungen durch eine Zugentlastung vor Längsbeanspruchung zu schützen. Die Mindestzugfestigkeit unter Berücksichtigung des Einsatzzweckes ist zu definieren und mit dem GL abzustimmen und nachzuweisen.

2.2.3 Werden zur Veränderung des Auftriebsverhaltens Auftriebskörper oder Gewichte verwendet, so müssen diese sicher befestigt werden können ohne das Umbilical zu schädigen.

Über den gesamten auftretenden Zugbereich sollen keine zusätzlichen Torsionseffekte auftreten.

Bei Schläuchen mit nicht korrosionsbeständigen Drahtgewebeeinlagen ist das Gewebe gegen umgebende Medien zu schützen.

2.3 Biegung und Knickung

Umbilicals sollen knicksicher und biegefest bzw. entsprechend angeordnet sein, um Knicken sicher zu vermeiden. Entsprechend dem Aufbau des Umbilicals ist der minimale Biegeradius mit dem GL zu vereinbaren.

Der minimale Biegeradius einer Einzelkomponente (z.B. Tragseil, Kabel, Leitung, usw.) darf nicht größer sein als der minimale Biegeradius des gesamten Umbilicals. [1]

Werden zur Verhinderung von Biegung und Knickung besondere Elemente verwendet, müssen diese sicher befestigt werden können, ohne das Umbilical zu schädigen.

2.4 Schlauchleitungen

2.4.1 Auslegung

Bei der Auslegung ist zu berücksichtigen:

- Jede Schlauchleitung ist für einen inneren Berstdruck auszulegen, wobei dieser bei Flüssigkeiten das 4-fache, bei Gasen das 5-fache des zulässigen Betriebsüberdrucks mindestens betragen muss.
- Schlauchleitungen, die mit Außendruck beaufschlagt werden, sind bei bemannten Unterwasserfahrzeugen für das 1,1-fache und bei unbe-

[1] Für Biegeradius und Biegezahl vergleiche auch CIGRE-Recommendation 68 unter Berücksichtigung der mechanischen Anforderungen nach 2.1 zuzüglich Einflüsse von Temperatur, Last, Salzwasser, evtl. Dieselöl.

mannten Unterwasserfahrzeugen und anderen Elementen für das 1,0-fache des Zerstörungstauchdrucks **CDP** auszulegen.

– Dabei ist die maximal mögliche Druckdifferenz Δp zwischen Innen- und Außendruck zu berücksichtigen.

2.4.2 Typprüfung

– Berstdruckprüfung:

Jede Schlauchleitung ist einem Innendruck bis zum Bersten auszusetzen. Bei Flüssigkeiten hat der Mindestberstdruck das 4-fache, bei Gasen das 5-fache des zulässigen Betriebsüberdrucks zu betragen.

– Außendruckprüfung:

Schlauchleitungen, die zusätzlich äußerem Überdruck ausgesetzt sind, sind in einer Wasserdruckprüfung dem 1,5-fachen der maximal möglichen Druckdifferenz zwischen innen und außen auszusetzen (mindestens jedoch 10 bar).

2.4.3 Stückprüfung

Im Rahmen der Serienherstellung umfasst die Stückprüfung folgende Prüfschritte:

– Druckprüfung:

Vor Einbau in ein Umbilical ist jede Schlauchleitung mit einem Innendruck entsprechend dem 1,5-fachen (metallische Schlauchleitungen) bzw. 2-fachen (nicht-metallische Schlauchleitungen) zulässigen Betriebsüberdruck zu prüfen.

– Außendruckprüfung:

Schlauchleitungen, die zusätzlich äußerem Überdruck ausgesetzt sind, sind in einer Wasserdruckprüfung dem 1,5-fachen der maximal möglichen Druckdifferenz zwischen innen und außen auszusetzen.

2.5 Armaturen

Verbindungselemente und Armaturen müssen denselben inneren und äußeren Auslegungsdrücken wie das Umbilical entsprechen, dürfen sich nicht unbeabsichtigt lösen, müssen korrosionsbeständig und für die vorgesehenen Medien geeignet sein.

3. Elektrische Anforderungen

3.1 Umbilicals können Überwachungs- und Kommunikations-/Datenübertragungskabel sowie Energieversorgungsleitungen enthalten.

3.2 Auslegung

Bei der Auslegung ist zu berücksichtigen:

– Es sind flexible bzw. hochflexible Kabel, z. B. der Klasse 5 nach IEC, zu verwenden, wobei für Energieversorgungskabel der minimale Querschnitt der einzelnen Kupferleiter 2,5 mm^2 beträgt. Leerräume in Kabeln sind zum Erhalt der Formstabilität mit geeigneten Füllmaterialien, wie z. B. Petroleum Gallerte, zu füllen.

– Elektrische Kabel und optische Leiter sind entsprechend ihrer Anforderung auszulegen. Die maximale Länge ist dabei zu berücksichtigen.

– Für spezielle Zwecke kann es erforderlich sein, Kabel längswasserdicht auszuführen.

– Bei verschiedenen Kabeln mit mehreren Spannungsebenen sind gegenseitige negative Beeinflussungen zu vermeiden.

– Bei Kabeln dürfen mechanische Kräfte nicht durch die Leiter und deren Isolierung übertragen werden.

– Kabel sind mindestens querwasserdicht auszuführen.

– Jedes Kabel ist für einen Außendruck auszulegen, der bei bemannten Unterwasserfahrzeugen das 1,1-fache und bei unbemannten Unterwasserfahrzeugen und anderen Elementen das 1,0-fache des Zerstörungstauchdrucks **CDP** mindestens betragen muss.

– Längere Lagerung von Kabeln im Wasser darf nicht zu einer deutlichen Verringerung des Isolationswiderstandes führen.

3.3 Typprüfung

Im Prinzip sind die für das Projekt spezifizierten elektrischen und elektronischen Eigenschaften z. B. gemäß Typprüfung nach IEC 60092-350/351 nachzuweisen.

Die Typprüfung umfasst folgende Prüfschritte:

– Sichtkontrolle

– Kontrolle der Abmessungen, Aufbau und Kennzeichnung

– Die Prüfung der Querwasserdichtheit von elektrischen Kabeln/Einzelleitern ist in der Regel mit $2 \times P_N$ (zyklisch) durchzuführen. Wenn die Kabel im Umbilical mit Querwasserdichtheit integriert sind, kann die Prüfung in Abstimmung mit dem GL entfallen.

– Ermittlung der Spannungsfestigkeit gemäß Tabelle E.1

Isolationsmessung von Energieversorgungsleitungen mit mindestens 500 V (Richtwert: > 500 $M\Omega \times km$)

Bei Kabeln mit einer Nennspannung bis 1 kV ist eine Prüfung der Isolationswerte mit einer Prüfspannung gleich der 2-fachen Nennspannung, mindestens jedoch 500 V durchzuführen.

Bei Energieversorgungsleitungen mit einer Nennspannung über 1 kV ist eine Prüfung der Isolationswerte mit einer Prüfspannung von mindestens der Nennspannung durchzuführen.

Tabelle E.1 Prüfspannungen für Kabel

U_m	**kV**	1,2	3,6	7,2	12
U_0/U	**kV / kV**	0,6 / 1,0	1,8 / 3,0	3,6 / 6,0	6,0 / 10
AC-Prüfspannung	**kV**	3,5	6,5	11	15
DC-Prüfspannung	**kV**	2 × U	1,5 × U	1,3 × U [1]	1,25 × U [1]

Anmerkungen:
U_0 : Nenn-Netzspannung zwischen Leiter und der Erde oder metallischer Schirm
U : Nenn-Netzspannung zwischen den Leitern, für die das Kabel ausgelegt ist
U_m: höchstzulässige Spannung für Betriebsmittel

[1] Prüfspannung im Einzelfall gemäß Absprache mit GL

Die Prüfdauer beträgt bei der Verwendung von Wechselstrom (AC) als Prüfspannung 15 Minuten.
Die Prüfdauer beträgt bei der Verwendung von Gleichstrom (DC) als Prüfspannung 1 Minute.

Die Prüfung umfasst die Ermittlung des Isolationswertes aller Leiter untereinander sowie jeder Einzelleitung gegen die äußere Isolationsschicht.

Die Isolationsmessung ist vor und nach der Prüfung der Querwasserdichtheit und nach der Prüfung der Spannungsfestigkeit durchzuführen.

- Widerstandmessung aller Einzelleiter
- Teilentladungsmessung gemäß IEC 60885-2 bei Spannungen über 3,6/6 kV (U_0/U) für alle Einzelleiter des Kabels
- In Abhängigkeit von Spannung und Einsatzzweck Impedanz- und/oder Kapazitätsprüfung in Absprache mit GL
- Kontrolle der Einhaltung der Isolations-, Kapazitäts- und gegebenenfalls der Impedanzspezifikationen

3.4 Stückprüfung

Im Rahmen der Serienherstellung umfasst die Stückprüfung folgende Prüfschritte:

- Sichtkontrolle
- Kontrolle der Abmessungen, Aufbau und Kennzeichnung
- Mantelfehlerprüfung, sofern zutreffend
- Ermittlung der Spannungsfestigkeit gemäß Tabelle E.1
- Die Querwasserdichtheit von elektrischen Kabeln / Einzelleitern ist in der Regel mit 1,5 × P_N (zyklisch), entsprechend GL Vorschriften für Bemannte Unterwasserfahrzeuge (I-5-2), Abschnitt 11, Abb. 11.2 zu prüfen. Sofern das Kabel in ein querwasserdichtes Umbilical integriert wird, kann nach Abstimmung mit dem GL auf diese Prüfung verzichtet werden.
- Die Isolationsmessung gemäß 3.3 ist vor und nach der Prüfung der Querwasserdichtheit und nach der Prüfung der Spannungsfestigkeit durchzuführen.

3.5 Elektrische Verbindungselemente

Elektrische Verbindungselemente müssen für dieselben äußeren Auslegungsdrücke wie die Kabel ausgelegt sein, dürfen sich nicht unbeabsichtigt lösen und müssen korrosionsbeständig sein. Elektrisch sind sie wie die zugehörigen Kabel auszulegen und müssen zusätzlich längswasserdicht sein. Durch die Verbindungselemente dürfen die mechanischen und elektrischen Eigenschaften nicht negativ beeinflusst werden.

4. Auf- und Abrolleinrichtungen für Umbilicals

Bezüglich technischer Anforderungen an Auf- und Abrolleinrichtungen für Umbilicals auf dem Versorgungsschiff siehe GL Vorschriften für Unbemannte Unterwasserfahrzeuge (ROV, AUV) und Unterwasser-Arbeitsmaschinen (I-5-3), Abschnitt 6, E.3. bzw. Bemannte Unterwasserfahrzeuge (I-5-2), Abschnitt 17, E.5.

5. Abwerfen des Umbilicals

5.1 Für den Fall, dass sich das Umbilical an einem Unterwasserhindernis verhängt und diese Behinderung durch entsprechendes Manövrieren nicht zu beseitigen ist, kann es erforderlich sein, das Umbilical vom Element unter Wasser zu trennen und einen unabhängigen Auftauchvorgang einzuleiten.

5.2 Bei bemannten Unterwasserfahrzeugen muss das Umbilical durch die Besatzung vom Inneren des Unterwasserfahrzeugs aus abgeworfen bzw. abgetrennt werden können. Die Abtrennvorrichtung ist so zu gestalten, dass zwei voneinander unabhängige Bedienungsvorgänge, welche keine elektrische Energie benötigen, erforderlich sind, um die Trennung durchzuführen.

5.3 Bei unbemannten Elementen, bei denen ein Abtrennen erforderlich ist, muss das Umbilical vom Fahrstand aus am Anschlagpunkt des Unterwasserfahrzeugs abgeworfen bzw. abgetrennt werden können.

Die Abtrennvorrichtung ist so zu gestalten, dass ein unbeabsichtigtes Abtrennen verhindert wird.

5.4 Bei anderen Elementen unter Wasser ist je nach Beschaffenheit und Einsatzzweck die Möglichkeit des Abwurfs mit dem GL abzustimmen.

C. Genehmigungsunterlagen

Es sind einzureichen:

- allgemeine Beschreibung des Einsatzzweckes
- Beschreibung des Aufbaus und der verwendeten Materialien der Einzelkomponenten
- Angabe der Hauptparameter, vgl. E.
- Zeichnung des Querschnitts
- Angaben über Verbindungselemente und Armaturen, ggf. Zeichnungen, soweit vorhanden
- Angaben über die Druck- und Strömungsverhältnisse und Kapazität bei Gas- und Flüssigkeitstransport
- Angaben über die Energie-, Kommunikations- und Datenübertragung, z. B. Spannung, Strom, Übertragungsraten
- Spezifikation der Impedanz, Kapazität und Widerstandswerte
- Angaben über bereits durchgeführte Prüfungen mit Zertifikaten
- Angaben über Montage, Wartung, Betrieb und Instandsetzung
- Beschreibung der Kennzeichnung

D. Prüfungen und Erprobungen

1. Allgemeines

1.1 Die erforderlichen Prüfungen sind in eine Typprüfung für den Prototyp und in eine Stückprüfung im Rahmen der Herstellung für den tatsächlichen Einsatz unterteilt.

1.2 Ein Erprobungs- und Prüfungsprogramm ist vom Hersteller des Umbilicals entsprechend der Spezifikation des Anforderungsprofils für das Umbilical durch den Endkunden (Elementhersteller oder -betreiber) zu erstellen und dem GL zur Genehmigung einzureichen. Im Allgemeinen soll dieses Programm mindestens die nachstehend angeführten Prüfungsschritte enthalten.

1.3 Über den Umfang der Anwesenheit von GL Besichtigern bei diesen Prüfungen und Erprobungen entscheidet der GL im Einzelfall.

2. Typprüfung

2.1 Mechanische Anforderungen

Die Typprüfung umfasst folgende Prüfungsschritte:

- Sichtkontrolle
- Kontrolle der Abmessungen, Aufbau und Kennzeichnung
- Gewichtsermittlung:

  Das effektive Einsatzgewicht des Umbilicals [t/1000 m] ist in Luft, in Wasser (wenn nicht anders spezifiziert: Seewasser mit 1028 kg/m^3), leer und gefüllt und unter definierter dynamischer Belastung (mit Reibung im Wasser) zu bestimmen, so dass die Nutzlast **SWL** am oberen Ende des Umbilicals festgelegt werden kann.
- Zugfestigkeitsprüfung:

  Die Mindestzugfestigkeit der zur Aufnahme der Zugbelastung vorgesehenen Elemente des Umbilicals ist zu bestimmen.
- Knickprüfung:

  Das Umbilical ist 5000 mal mit dem definierten Biegeradius an einer Stelle und Richtung zu knicken. Anschließend ist eine Isolationsmessung und eine Widerstandmessung der Einzelleitungen durchzuführen.
- Torsionsprüfung:

  Ein Teilstück von mindestens 1 m Länge ist vertikal mit 0,3 **SWL** zu belasten und um 90° für mindestens 5 Minuten zu verdrehen. Nach der Prüfung darf sich keine nennenswerte Längung oder Verdrehung zeigen. Elektroleitungen werden anschließend einer Widerstandsmessung, Schlauchleitungen einer Dichtheitsprobe mit Betriebsdruck unterzogen.
- Streckbelastungsprüfung:

  Ein Teilstück von mindestens 1,5 m Länge ist an den Enden einzuspannen und es wird eine Vorspannung in Längsrichtung aufgebracht. Die Größe dieser Vorspannung ist mit dem GL abzustimmen. Für 5 Zyklen wird nun diese Vorspannung auf den 5-fachen Wert angehoben und wieder verringert. Elektroleitungen werden anschließend einer Widerstands- und Isolationsmessung, Schlauchleitungen einer Dichtheitsprobe mit Betriebsdruck unterzogen.
- Außendruckprüfung:

  Das Umbilical ist in der Regel einer Wasserdruckprüfung mit dem 2-fachen Nenndruck des Umbilicals P_N zyklisch zu unterziehen. Bei großen Wassertiefen ist der Prüfdruck mit dem GL abzustimmen.

  Dabei ist darauf zu achten, dass bei der Verwendung von Schlauchleitungen der Innendruck möglichst nicht unter dem Tauchdruck liegt.

– Dichtheitsprüfung des gesamten Umbilicaltyps:

  Dabei sind alle Schlauchleitungen gleichzeitig den zulässigen Betriebsüberdrücken auszusetzen und etwaiger Druckabfall durch Undichtheiten zu kontrollieren. Als maximal zulässige Leckrate gilt 1 % Druckabfall in 24 Stunden für die einzelnen Schlauchleitungen.

– Sofern Gase mit einem Volumenanteil > 25 % Sauerstoff transportiert werden sollen, sind alle mit dem Gas in Kontakt kommenden Materialien auf ihre Sauerstoffeignung zu prüfen (z. B. nach EN 559). Bei zulässigen Betriebsdrücken von mehr als 25 bar ist zusätzlich eine Sauerstoffdruckstoßprüfung durchzuführen (z. B. nach EN 15333-1).

– Im aktuellen Anwendungsfall wird vom GL in Abhängigkeit von Einsatzzweck und Einsatzbedingungen entschieden, ob alle angeführten Prüfungen durchzuführen sind.

– Sofern gefordert, ist der spezifizierte Flüssigkeits- bzw. Gasmengendurchsatz zu prüfen (gegebenenfalls mit Hochrechnung auf die tatsächlichen Umbilicallängen).

2.2 Elektrische/elektronische Anforderungen

Im Prinzip sind die für das Projekt spezifizierten elektrischen und elektronischen Eigenschaften z. B. gemäß Typprüfung nach IEC 60092-350 nachzuweisen.

Die Typprüfung umfasst folgende Prüfungsschritte:

– Jedes einzelne Kabel muss die Anforderungen entsprechend B.3.3 erfüllen.

– Die Querwasserdichtheit des Umbilicals ist im Rahmen der Außendruckprüfung gemäß 2.1 nachzuweisen.

– Isolationsmessungen nach B.3.3 sind vor und nach der Prüfung der Querwasserdichtheit durchzuführen.

– Impedanz- und/oder Kapazitätsprüfungen sind in Abhängigkeit von Spannung und Einsatz in Absprache mit dem GL durchzuführen.

– Ermittlung der Spannungsfestigkeit gemäß Tabelle E.1

– Kontrolle der Einhaltung der Isolations-, Kapazitäts- und gegebenenfalls der Impedanzspezifikationen

– Überprüfung des Transports der spezifizierten Datenmenge/ Zeiteinheit

  (Wenn Datenkabel gemeinsam mit Kabeln zur Spannungsversorgung innerhalb eines Umbilicals geführt werden, so ist die Überprüfung der Datenübertragung bei angelegter Nennspannung durchzuführen. Spannungsspitzen durch z. B. Schaltvorgänge sind zu berücksichtigen.)

3. Stückprüfung

3.1 Mechanische Anforderungen

Im Rahmen der Serienherstellung umfasst die Stückprüfung folgende Prüfschritte:

– Sichtkontrolle

– Kontrolle der Abmessungen, Aufbau und Kennzeichnung

– Außendruckprüfung:

  Das Umbilical ist in der Regel einer Wasserdruckprüfung mit dem 1,5-fachen Nenndruck des Umbilicals P_N (zyklisch gemäß den GL Vorschriften für Bemannte Unterwasserfahrzeuge (I-5-2), Abschnitt 11, Abb. 11.2) zu unterziehen.

  Dabei ist darauf zu achten, dass bei der Verwendung von Schlauchleitungen der Innendruck in der Regel nicht unter dem Tauchdruck liegt.

– Druck- und Dichtheitsprüfung des gesamten, fertig montierten Umbilicals einschließlich Endarmaturen:

  Dabei sind alle Schlauchleitungen gleichzeitig mit dem Originalmedium (sofern möglich) dem 1,5fachen (metallische Schlauchleitungen) bzw. 2fachen (nicht-metallische Schlauchleitungen) des zulässigen Betriebsüberdrucks auszusetzen und es ist etwaiger Druckabfall durch Undichtheiten zu kontrollieren.

– Die Sauberkeit der Schlauchleitungen ist zu kontrollieren.

3.2 Elektrische/elektronische Anforderungen

Im Rahmen der Serienherstellung umfasst die Stückprüfung folgende Prüfschritte:

– Jedes einzelne Kabel muss die Anforderungen entsprechend B.3.4 erfüllen

– Mantelfehlerprüfung, sofern zutreffend

– Isolationsmessungen nach B.3.4 sind vor und nach der Prüfung der Querwasserdichtheit im Rahmen der Außendruckprüfung gemäß 3.1 durchzuführen.

– Ermittlung der Spannungsfestigkeit gemäß Tabelle E.1 in Absprache mit dem GL

– Prüfung des störungsfreien Transfers der spezifizierten Datenmenge/Zeiteinheit durch die Datenkabel

E. Kennzeichnung

1. Kennzeichnung von Umbilicals

Die am Umbilical angebrachte dauerhafte Kennzeichnung soll folgende Angaben aufweisen:

- Name des Herstellers
- Baujahr und Herstellungsnummer
- Nutzlast des Umbilicals **SWL** [t]
- Gesamtlänge [m]
- Gesamtdurchmesser [mm]
- minimaler Biegeradius [m]
- zulässiger innerer Betriebsüberdruck der Schlauchleitungen [bar]
- zulässiger äußerer Nenndruck des Umbilicals P_N [bar]
- Angaben über Kabel zur Übertragung elektrischer Energie (maximale Spannung und Stromstärke)
- Angaben zur Kommunikation/Datenübertragung

Weiterhin ist das Umbilical mit einer Längsmarkierung zur Torsionskontrolle sowie Längenmarkierungen alle 100 m und die ersten und letzten 100 m des Umbilical alle 10 m zu kennzeichnen.

Angebrachte Kennzeichnungen dürfen keine Elemente enthalten, die Korrosionsschäden verursachen können.

2. Kennzeichnung von Schlauchleitungen

Die Kennzeichnung von Schlauchleitungen sollen folgende Angaben aufweisen:

- Name des Herstellers
- Baujahr und Herstellungsnummer
- Aussen-und Innendurchmesser [mm]
- zulässiger innerer Betriebsüberdruck der Schlauchleitungen [bar]
- Medien der einzelnen Schlauchleitungen

Die einzelnen Schlauchleitungen des Umbilicals sollen in geeignetem Abstand wiederholend gekennzeichnet sein, so dass man Zweck und Medium leicht erkennen kann.

3. Kennzeichnung von Kabeln

- Name des Herstellers
- Baujahr und Herstellungsnummer
- maximale Spannung [V]
- maximale Stromstärke [A]
- Querschnitt der Einzelleiter [mm^2]

Es wird empfohlen, die einzelnen elektrischen Adern verschiedenfarbig zu kennzeichnen.

Die Kabel sollen in geeignetem Abstand wiederholend gekennzeichnet sein.